National Assessment of Pulp and Paper Environmental Effects Monitoring Data

A *Draft* Report Synopsis

National EEM Office
Environment Canada

December 2002

Executive Summary

The National Environmental Effects Monitoring (EEM) Program requires Canada's pulp and paper mills to conduct studies on their receiving environments in order to assess and monitor the potential effects of their effluents on fish, fish habitat, and the use of fisheries resources. The EEM studies focus mainly on benthic invertebrate community and fish population surveys, but supporting information pertaining to the sublethal toxicity of effluents, water and sediment quality, and fish tissue is also collected, where required.

This report provides a summary of the more detailed technical report entitled *National Assessment of the Pulp and Paper Environmental Effects Monitoring Data.*

For the purposes of this national assessment, benthic invertebrate community survey data were analysed with respect to study design, habitat type, effluent treatment type, and mill process type. On a national scale, the benthic invertebrate community surveys most commonly revealed a eutrophication response pattern, particularly in rivers, as a result of exposure to pulp mill effluent, likely due to its nutrient and organic content. Eutropnication is an "overfertilization" of the water, which can disrupt normal ecosytem functionning, produce harmful bacteria and algae, and lower the aesthetic value of an area. Although this response was generally mild to moderate, a few mills showed more pronounced eutrophication. The average pattern observed in marine/estuarine habitats was indicative of toxic or smothering effects, and the response in lakes fell somewhere in between those in rivers and marine/estuarine environments.

Data from the fish population survey were analysed to determine the magnitude of effects on the key fish endpoints as influenced by gender, fish species, mill process type, effluent treatment type, and habitat. The predominant response patterns seen in fish across the country were a decrease in gonad weight and increases in liver weight, condition factor, and weight at age. These responses are believed to be indicative of some form of metabolic disruption or impairment of endocrine functioning in combination with a nutrient enrichment effect.

Results from the benthic invertebrate community and fish population surveys were quantitatively integrated to further elucidate overall national response patterns. There was good agreement between results from the two surveys. The metabolic disruption/nutrient enrichment response observed in fish was closely related to the eutrophication response seen in benthos. Results also revealed that overall fish nutrient enrichment (without measurable metabolic disruption) may not be detected until the benthos reach a state of pronounced eutrophication. Under conditions of less pronounced eutrophication, the fish results indicated the presence of metabolic disruption effectseven when the overall effect on invertebrate was simply one of eutrophication. Thus, the two core components of the EEM field survey complement each other by revealing different aspects of the effects associated with effluent exposure.

Sublethal toxicity data showed a national improvement in effluent quality at Canadian pulp and paper mills between Cycles 1 and 2. Decreases in effluent toxicity between Cycles 1 and 2 were, in part, attributed to the installation of secondary treatment systems at mills across the country.

In general, pulp and paper mills are not impacting the ability of Canadians to use fish. In one case, pulp mill effluent is contributing to tainting of fish, and there are isolated cases where mills may be contributing to elevated levels of dioxins and furns in fish tissue. Environment Canada will continue to work with these mills on a site-specific basis.

In summary, effluent quality has vastly improved since the 1992 Pulp and Paper Effluent Regulations were promulgated; however, effects on fish and fish habitat are still being seen. More monitoring is needed to assess the ecological importance of these observed effects, and Environment Canada will continue to work with industry and other stakeholders to better understand their significance.

Table of Contents

EXECUTIVE SUMMARY **2**

INTRODUCTION **5**

HISTORICAL OVERVIEW OF PULP AND PAPER MILL EFFLUENTS **6**

NATIONAL EEM DATA ASSESSMENT **7**

Benthic Invertebrate Community Survey 7
Benthic Invertebrate Community Survey Data Analysis *8*
National Trends *9*
Fish Population Survey 13
Fish Population Survey Data Analysis *14*
National Trends *14*
Overall National Response Patterns for Benthic Invertebrate Community and Fish Population Surveys 17
Use of Fisheries Resources 18
Sublethal Toxicity 18

OVERALL CONCLUSIONS **19**

GLOSSARY **21**

REFERENCES **23**

Introduction

In 1992, the Pulp and Paper Effluent Regulations under the *Fisheries Act* were amended to include more stringent discharge limits for total suspended solids and biochemical oxygen demand and a requirement for non-acutely lethal effluent. With these amendments, mills were required to install secondary treatment systems as part of their effluent treatment processes. Although it was acknowledged that more stringent discharge limits would improve environmental protection, it was also recognized that these measures alone might not ensure adequate protection of the aquatic environment at every site. Consequently, the 1992 amendment of the Pulp and Paper Effluent Regulations included a requirement for an environmental effects monitoring (EEM) program.

The National EEM Program requires Canada's pulp and paper mills to conduct studies on their receiving environments in order to assess and monitor effects potentially caused by their effluent. EEM's site-specific nature calls for iterative evaluations of the potential effects of effluent on fish, fish habitat, and the use of fisheries resources. The program is structured in a three-year sequence of monitoring and interpretation phases known as "cycles." At the beginning of each cycle, each mill is expected to develop a site-specific monitoring program in collaboration with regional Environment Canada officials; at the end of each cycle, mills must submit interpretive reports summarizing their field work and interpreting the results. The structure of the EEM program ensures a certain level of national consistency in the way in which mills monitor the effects of their effluent on the environment.

The EEM program provides a long-term evaluation of effluent impacts on the aquatic environment, requiring a minimum of several cycles (15–20 years) to allow an assessment of the condition of the receiving environment and a true understanding of the significance of any impacts. Moreover, EEM provides quantitative and qualitative answers to clear, well-defined questions by measuring responses of organisms and populations to the presence of effluents in exposure and reference areas (Hodson et al., 1996). The program uses a tiered approach to monitoring, with initial studies carried out to characterize and assess the condition of the receiving environment followed by targeted studies once effects are found or reduced monitoring where effects are not occurring. This structure minimizes costs but allows the program to remain scientifically defensible and flexible.

An EEM study includes the following components:

- a fish population survey to assess the health of fish;
- a benthic invertebrate community survey to assess fish habitat;
- a study of dioxins and furans in edible fish tissue and a tainting study as assessments of the usability of fisheries resources;
- sublethal toxicity testing to assess effluent quality; and
- supporting water and sediment quality variables to aid in the interpretation of biological data.

The benthic invertebrate community and fish population surveys utilize a select group of "effects" endpoints, which primarily drive future monitoring but also contribute to an understanding of the real nature of impacts (at the site level) from pulp and paper effluent discharges. In EEM, an "effect" is a statistically significant response in at least one of the select endpoints in comparisons between biological samples taken near a mill (exposure area) and samples taken from a reference area. The reference area is a sampling area as similar as possible in all aspects to the exposure area (e.g., same habitat, water quality features, hydrological features, etc.), but without the presence of mill effluent. Unlike the field data, the supporting variables and sublethal toxicity data are not used to determine whether or not environmental "effects" are occurring at mill sites. Rather, they are meant to provide further information on parameters that may or may not have an influence on any observed effects.

The EEM effects endpoints used in the benthic invertebrate community and fish population surveys are as follows:

Benthic invertebrate community survey endpoints:	**Fish population survey endpoints:**
Total abundance	Gonad weight
Taxon richness	Condition factor
Bray-Curtis index of dissimilarity	Liver weight
Simpson's diversity (or evenness)	Weight at age
	Age

The purpose of this report is to provide a summary of the more detailed technical report entitled *National Assessment of Pulp and Paper Environmental Effects Monitoring Data.* The national EEM data assessment was primarily designed to assess the type and magnitude of effects occurring on fish populations and benthic invertebrate communities as a result of exposure to pulp and paper effluents across Canada. A series of core questions or priority areas of focus identified by Environment Canada scientists guided the assessment. The questions were fundamental to the evaluation of the effectiveness of EEM monitoring in assessing the effects of pulp and paper mill effluents on aquatic environments and in providing the necessary information to understand the ecological importance of effects already identified.

In addition to the priority areas identified, the analysis of sublethal toxicity data was carried out to assess overall changes in effluent toxicity before and after the implementation of secondary treatment at most mills. Other components of the National EEM Program (i.e., dioxins and furans in edible fish tissue and tainting) were not the subject of analysis, due to the small number of mills that were required to complete such analyses.

Historical Overview of Pulp and Paper Mill Effluents

Pulp and paper products are made from three major types of fibres: wood, recycled fibres, and non-wood fibres (e.g., cotton, hemp, etc.) (USEPA, 1998). Most pulp and paper products are wood-based, and a large number are the result of the kraft pulping process, which typically yields such products as writing paper, paper bags, and cardboard. Pulping procedures involving primarily chemical processes include those used at soda and sulphite mills. Mechanical pulping, which involves shredding or grinding wood chips and usually results in high-yield pulps, is most commonly used for newsprint and catalogue paper (Biermann, 1996). Finally, semi-chemical pulping combines chemical and mechanical methods (USEPA, 1998) and is commonly used for manufacturing corrugated cardboard.

Effluent treatment processes include primary, secondary, and tertiary treatment. Primary treatment, in which solids are removed from water by allowing them to settle out, became widely used in the 1950s (Biermann, 1996). Today, mills generally use at least a secondary treatment process as well, which involves reacting the effluent with oxygen and microorganisms to remove oxygen-consuming materials and decreases the effluent toxicity significantly (Biermann, 1996). Secondary treatment processes most commonly used in Canada are aerated stabilization basins and activated sludge. Tertiary treatment processes, which are the most advanced types of treatment, follow secondary treatment and are often considered for the removal of colour (Biermann, 1996).

The pulp and paper industry, because of its diverse nature, can release a wide range of compounds into the aquatic environment. Research done on pulp and paper effluents has implicated fibre and suspended solids, colour and turbidity, and organic and nutrient enrichment loads as the three conventional pollutant factors with adverse environmental impacts (Owens, 1991). More specifically, biochemical oxygen demand, total suspended solids, and acute toxicity were among the major issues identified as being of concern. Dioxins and furans, which are highly persistent in the environment, have a strong affinity for

sediments, and are bioaccumulative, were also a concern for communities living downstream from mills, particularly those with high fish consumption.

The 1971 regulations under the *Fisheries Act* applied in full only to mills built after that date, while many older mills continued to release effluent that did not comply with the new regulations. This was becoming increasingly unacceptable, and the need to examine Canadian mills for biological responses was partially addressed by the passing of the National Pulp and Paper Regulatory Package for the Canadian pulp and paper industry in 1992. These new regulations, updating the 1971 regulations, not only applied to all mills, but imposed discharge limits for biochemical oxygen demand and total suspended solids and prohibited the release of any effluents that were acutely lethal to fish (OECD, 1999). Dioxins and furans became regulated under the Pulp and Paper Chlorinated Dioxins and Furans Regulations of the *Canadian Environmental Protection Act* in 1992 and were largely eliminated from pulp and paper mill effluents over the 1990s (Environment Canada, 1999).

Although the aim of the new regulations was to address a number of concerns associated with changes occurring in aquatic ecosystems around pulp and paper mills, there remained concern about the lack of understanding of how potentially widespread the issue really was. In parallel, there was a lot of inconsistency in terms of the level and intensity of biological monitoring that had been done at mills built after 1971 and subject to the full impact of the regulations. The amendments to the *Fisheries Act* resulting from the passing of the regulatory package also included a provision for EEM at pulp and paper mills in Canada. It was hoped that the initiation of the EEM program would alleviate concerns about the inconsistency of biological monitoring efforts.

The implementation of these new regulations in combination with increasing environmental pressures led to important improvements in the industry's treatment processes, dramatically improving the chemical composition and toxicity of the final effluent and significantly reducing the potential threat to the environment (Bothwell, 1992; Servos et al., 1996; Dubé and McLatchy, 2000). In the late 1990s, studies were beginning to document early signs of recovery in fish reproductive parameters at a number of mills that had modernized their processes (Munkittrick et al., 1997). Advanced pulp mill effluent treatment also resulted in significantly reduced incidences of toxic effects on or pronounced eutrophication in benthic invertebrate communities (Lowell et al., 1996, 2000; Felder et al., 1998; Chambers et al., 2000; Culp et al. 2000a,b; Lowell and Culp, 2002).

Despite these improvements, concerns remain about the long-term impacts of effluents on the aquatic environment. The chemical composition of each effluent varies drastically, making the assessment of their environmental impact a difficult task. Moreover, the complexity and natural variability of biological systems make it difficult to provide definitive answers with regard to the environmental impacts of effluents (Kovacs et al., 1995). However, the conceptual approaches used in the EEM program, based on site-specific design and applying standardized methods, have clearly shown that knowledge on the environmental effects of effluents can be gained. For the first time, this national assessment is providing answers on the effects of effluent based on geographically extensive scientific data collected in the receiving environment.

National EEM Data Assessment

Benthic Invertebrate Community Survey

The benthic invertebrate community survey helps to evaluate the condition of the aquatic food resources available to fish and assess the degree of habitat degradation. In Cycles 1 and 2 of the National EEM Program, the majority of mills reported statistically significant differences in the benthic invertebrate

community structure between exposure and reference areas. Some of these differences may have been attributable to the confounding influence of non-mill-related factors, even though improvements were made to the study design following Cycle 1 to help rule out these confounders. In Cycle 2, mills reported an overall improvement in conditions across the country for benthic invertebrate communities in exposure areas. In many cases, the improvements in benthic conditions were attributed to improvements in effluent processing, especially the installation of secondary treatment, which led to significant decreases in the sublethal toxicity of the effluent. Although a small number of mills indicated a worsening of benthic conditions, many of those cases were due to changes in non-mill-related factors.

Benthic Invertebrate Community Survey Data Analysis

The benthic invertebrate community survey is one of the two core elements of the EEM program. Two main types of benthic invertebrate study designs were used in Cycle 2: Control/Impact and Gradient. The Control/Impact design involves one or more discrete groups of sampling stations exposed to mill effluent (typically downstream from the mill) and another group of sampling stations that are not exposed (often located upstream). The Gradient design involves the use of sampling stations distributed more continuously in a gradient from more exposed to less exposed areas — that is, progressing from areas close to the effluent discharge point to more distant areas where the effluent is much more dilute (for more details, see Environment Canada, 2002; Glozier et al., 2002; Lowell et al., 2002).

The national EEM data assessment was, in part, carried out using statistical comparisons of benthic invertebrate community endpoint values between exposure and reference areas based on the Control/Impact design. Analyses of Gradient design data were carried out using regressions of endpoint values against distance from the outfall. The results of the analyses based on the Control/Impact and the Gradient designs were then integrated using a detailed statistical analytical procedure termed meta-analysis, which facilitates the synthesis of a large number of independent studies (Gurevitch and Hedges, 1993; Rosenberg et al., 2000;). For the national EEM data assessment, meta-analyses gave a quantitative indication of the general conclusions that could be drawn concerning the nature of effluent-associated effects and provided some answers to questions that would be very difficult to address at the individual mill level, such as the influence of habitat type, effluent treatment type, and mill process type on effects observed in the field. As such, the national EEM assessment addresses a number of issues that have received little (if any) attention in the past.

The results from the meta-analyses are presented in the summary format shown in Figure 1. The x-axis represents the standardized effect size, and the vertical line represents no effect. The results for each mill grouping are presented as a 95% confidence interval (horizontal line segment), with the tick mark indicating the average effect size for that grouping of mills. Mill distributions (i.e., 95% confidence intervals) to the right of the zero effect line indicate that the average effect associated with effluent exposure was an increase in the measured endpoint. Similarly, mill distributions to the left of the zero effect line indicate an effluent-associated decrease in the measured endpoint. As long as the 95% confidence intervals do not overlap with the zero effect line at any point, the increase or decrease is considered statistically significant for the group as a whole, although the group may also contain subgroups exhibiting statistically significant effects.

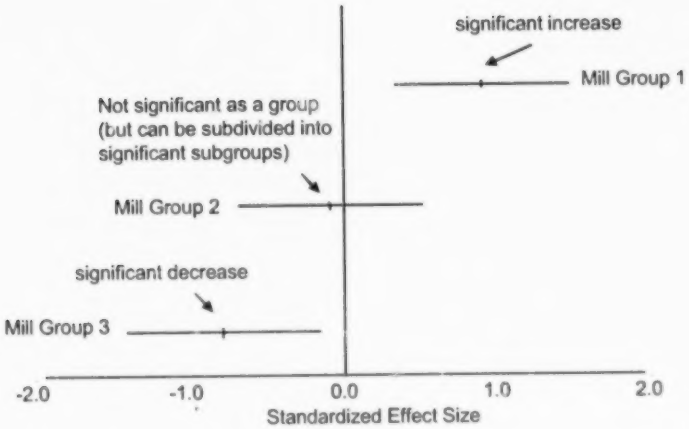

Figure 1: Meta-analysis summary figure

National Trends

Previous studies have provided insight into the expected effects of pulp mill effluent on benthic invertebrate communities (Lowell et al., 1995, 1996, 2000; Lowell and Culp, 1999, 2002; Culp et al., 2000a,b), and the overall nature of these interacting effects for the endpoints of abundance, taxon richness, and community structure is summarized in Figure 2. In the figure, the x-axis progresses from better quality effluent and less deleterious effects on the left to poorer quality effluent and more deleterious effects on the right. Historical effects (e.g., smothering effects of fibre mats generated over many years of mill operation) may also come into play.

Nutrient enrichment (or eutrophication) generally increases from left to right, along with increasing toxicity or smothering effects. In fact, nutrient enrichment can often be measured at lower effluent concentrations than toxicity, and toxic effects are often masked by eutrophication at low to medium concentrations. Mild eutrophication is typified by increases in both abundance and taxon richness. Progressing to the right, moderate eutrophication is typically associated with lessened increases in taxon richness, although further increases in abundance may still occur. More pronounced eutrophication is commonly associated with decreases in taxon richness, even while abundance is greater than that found in reference areas. Finally, decreases in both taxon richness and abundance are typically a sign of overall inhibitory effects, such as toxicity or smothering.

In the EEM program, changes in invertebrate community composition are measured by changes in the Bray-Curtis index of dissimilarity. The value of this index increases as poorer quality effluent leads to greater changes in community composition. This point is illustrated at the bottom of Figure 2, although it should be noted that changes in community composition are not always tied to changes in total abundance and taxon richness. There are many different ways in which benthic communities may be affected in the field; due to complex direct and indirect effects, effluent exposure may lead to pronounced effects on community composition without large effects on abundance or taxon richness, and vice versa.

The average overall effects on benthic invertebrate communities associated with exposure to effluent are illustrated in Figure 3. These means represent the averages across the country for all habitat types and, as for the following figures, focus on mills using a Control/Impact study design. Essentially, total abundance was well to the right of the zero effect (or vertical) line, meaning that the most common effect associated

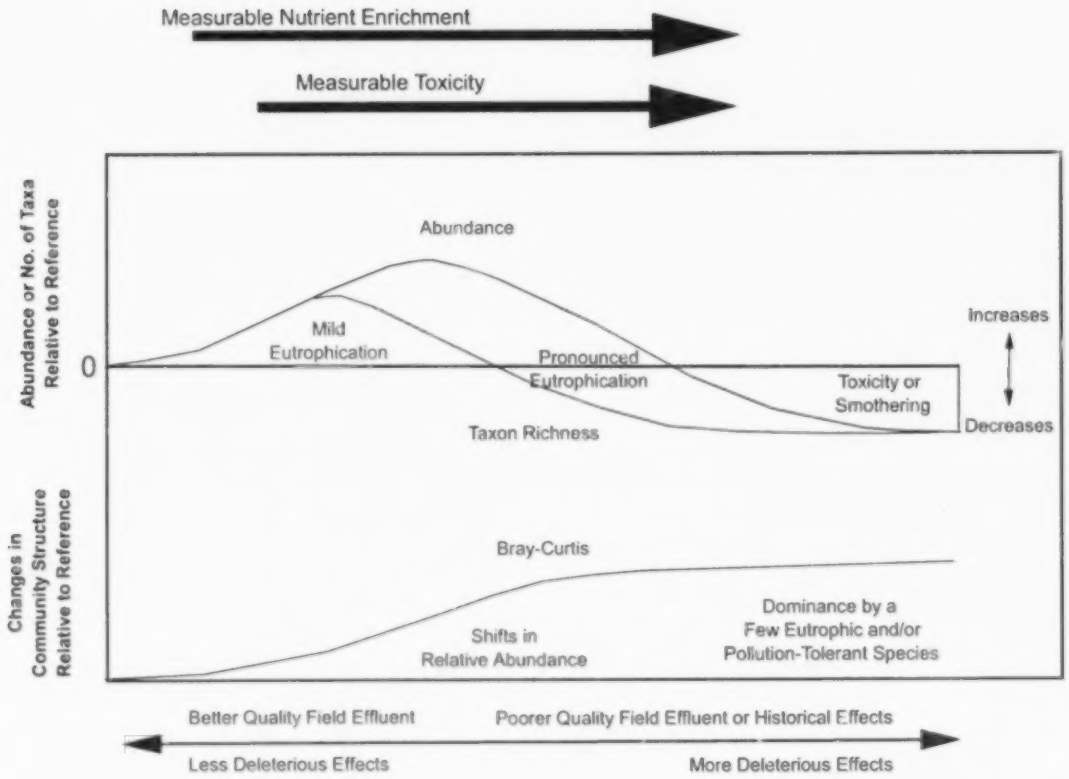

Figure 2: Predicted response patterns (modified from Lowell et al., 2000; see also Culp et al., 2000a)

with exposure to effluent was an increase in invertebrate numbers. This is a well-known eutrophication-type response to exposure to pulp mill effluent (Hall et al., 1991; Dubé and Culp, 1996; Chambers et al., 2000; Culp et al., 2000a,b; Lowell et al., 2000; Lowell and Culp, 2002) and is due to the nutrient enrichment effects of the phosphorus, nitrogen, and organic content of the effluent.

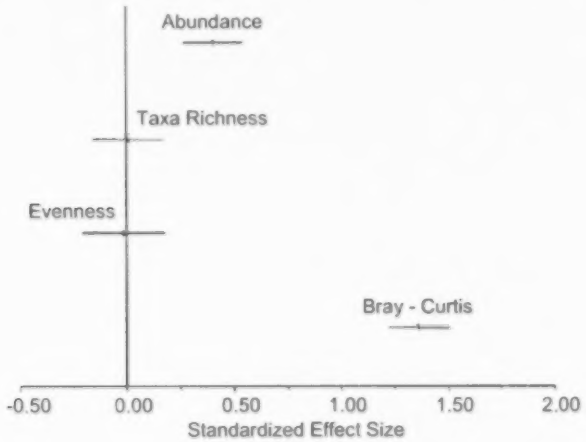

Figure 3: Grand mean of benthic invertebrate endpoints for Control/Impact study designs

Figure 3 shows that in contrast to abundance, the taxon richness grand mean was close to zero. This reflects a more even distribution of mills with increases, mills with decreases, and mills with no significant change in number of taxa. The abundance and taxon richness distributions, taken together, indicate that the most common effect across the country was an increase in abundance and either an increase or no change in taxon richness, indicative of mild eutrophication (as illustrated in Figure 2). The smaller number of mills with increases in abundance and decreases in taxon richness were showing typical signs of more pronounced eutrophication. The evenness grand mean was close to zero, also reflecting a more even distribution of mills with increases, decreases, or no significant change in evenness. On the other hand, the Bray-Curtis grand mean was highly significantly positive. This shows that there were clear changes in benthic invertebrate community composition in exposure areas across the country. Because of the way in which the index is calculated, any changes in community composition in exposure areas result in positive (not negative) Bray-Curtis values, with larger effects yielding larger Bray-Curtis values. This endpoint is very sensitive and as such tends to yield more responses. Effects detected by the Bray-Curtis index therefore tend to be highly significant.

Effluent-associated effects on benthic invertebrate communities varied significantly among different habitat types. The main habitat types were riverine (rivers) — erosional or depositional; lacustrine (lakes); and marine/estuarine. Abundance was significantly increased in both erosional and depositional riverine habitats, whereas the distribution of mill responses for taxon richness mostly ranged from increases to no significant change (Figure 4). This combination of responses is indicative of an average effect of mild eutrophication in riverine exposure areas. In contrast, both abundance and taxon richness decreased in marine/estuarine habitats, a response indicative of a toxicity or smothering effect. This inhibitory response in marine/estuarine habitats is likely due to a combination of factors, including the deterioration of habitat at several of the marine mills due to the long-term deposition of fibre mats. In erosional riverine habitats, the data suggested that evenness was reduced in exposure areas, which may reflect the sensitivity of organisms in these habitats to even mild eutrophication. In contrast, evenness was almost significantly increased in marine/estuarine exposure areas, suggesting that toxicity/smothering effects may have led to the loss of more rare taxa, leaving behind a smaller number of more evenly distributed, pollution-tolerant taxa.

The largest exposure area effects for the habitat subgroups were observed for the sensitive Bray-Curtis endpoint. By far the largest exposure-associated changes in community composition were measured in lacustrine habitats, in contrast with other endpoints, where the measured lake effects were more intermediate. This illustrates that, under different environmental conditions, effluent-related effects may be manifested in different ways, and it underscores the value of measuring changes in community structure using multiple endpoints to reduce the probability of missing important effects.

Pulp mills in Canada use a wide variety of effluent treatment and mill process types. Mills were grouped into broad categories in order to determine whether certain effluent treatment and mill process types were associated with greater or lesser effects in the environment or whether the different groupings are more or less equivalent in terms of their environmental effects. The two most common mill process types were kraft and thermomechanical, and the two most common effluent treatment types were activated sludge treatment and aerated stabilization basin. Since these represented the majority of the mills, the patterns observed in the meta-analyses apply on a national scale.

The abundance/taxon richness response patterns for the two prevalent effluent treatment types were similar and reflected the mild eutrophication effect that was most commonly observed for benthic invertebrate communities in Cycle 2 (Figure 5). The two major effluent treatment types were also quite similar in terms of effects on evenness and were not significantly different from zero. Overall, the

magnitudes of effects were larger for the Bray-Curtis endpoint, and these measured changes in community composition were fairly similar between the two treatment types.

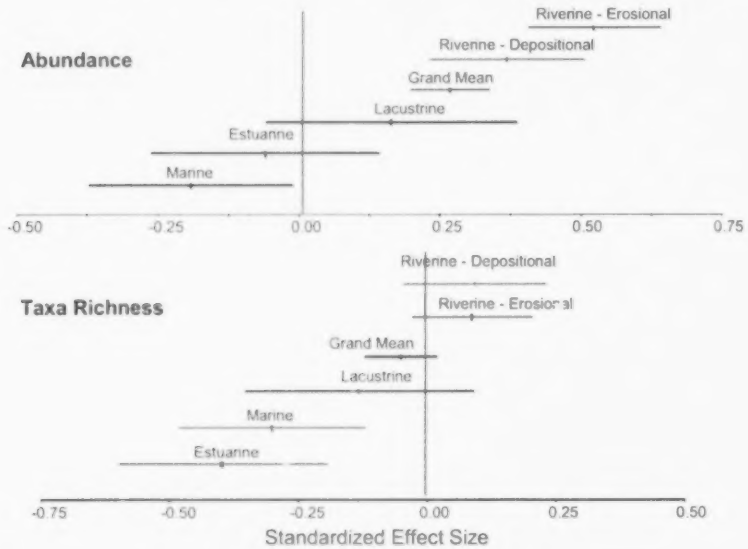

Figure 4: Abundance and taxon richness by habitat (Control/Impact mills + Gradient mills)

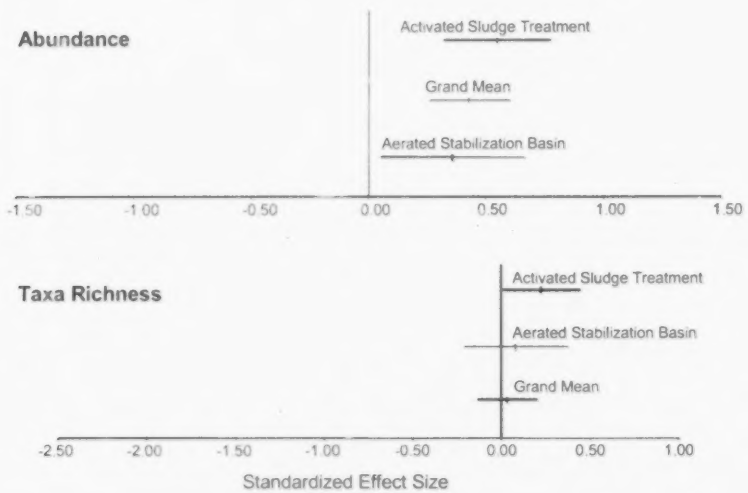

Figure 5: Abundance and taxon richness by effluent treatment (Control/Impact mills)

Exposure area abundance was significantly increased for the two most common mill process types (Figure 6). The two types differed for the taxon richness endpoint, with the results suggesting a milder eutrophication response for kraft mills and a more pronounced eutrophication response for thermomechanical mills on a national scale. The two mill process types had fairly similar responses for the evenness endpoint. The results indicated that individual mills that had either significant increases or

decreases in evenness could not be distinguished on the basis of mill process type. The magnitude of effect was greater for the Bray-Curtis endpoint, but the two mill process types did not significantly differ.

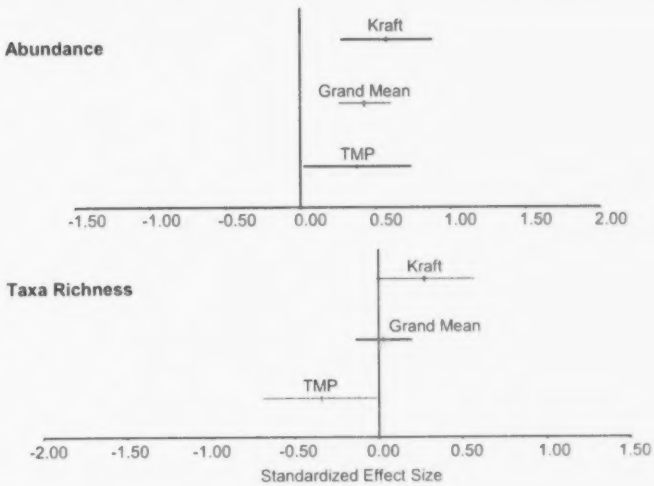

Figure 6: Abundance and taxon richness by mill process (Control/Impact mills). Kraft = kraft mills; TMP = thermomechanical pulp mills.

Although apparently less pronounced than in previous years, effects of pulp mill effluent on benthic invertebrate communities are still widely present. The most predominant response pattern observed in benthic invertebrate communities across the country was one of mild to moderate eutrophication, particularly in riverine habitats, although more pronounced eutrophication was observed at a few mills. In contrast, the average response pattern observed in marine/estuarine habitats was more indicative of toxic or smothering effects. The benthic invertebrate response in lakes was intermediate between those in riverine and marine/estuarine habitats. These response patterns were national averages, and exceptions occurred in each of the habitat subgroups. Further monitoring and accompanying research will help provide a better understanding of the extent and ecological significance of these effects.

Fish Population Survey

The fish population survey monitors fish in the receiving water where mills discharge effluent. The approach for the fish survey is based on a comparison of growth, reproduction, condition, and survival in fish exposed to effluent and fish taken from a reference area.

There were a number of problems associated with fish monitoring studies during Cycle 1. For instance, only 8% of mills (9 of 115 studies) successfully caught the required minimum number of fish (20 males and 20 females of two fish species) in the exposure and reference areas (Environment Canada, 1997), 50% were marginally or partially successful, and 42% were unsuccessful (not enough fish of either species or sex). The most common problems encountered in Cycle 1 were too few fish, uncertainty regarding their exposure to effluents, lack of suitable reference sites, and the presence of other effluents. Cycle 2 surveys proved to be more successful, as over 82% of the studies that attempted to use fish were able to gather sufficient interpretable data.

As with the benthic invertebrate community survey, not all effects found in Cycle 2 were necessarily mill-related effects. There were sites where concerns with the study design resulted in questionable responses.

Moreover, measured effects may not always be ecologically relevant for that specific site and that current time, at least in some respects. For instance, if the fish population is sustaining itself, this may indicate that the population can survive despite the presence of poor quality effluent, although this may require access to non-impacted waters during certain parts of the life cycle (McMaster et al. 1991; Munkittrick et al. 1997, 1998).

Fish Population Survey Data Analysis

The results presented in this national assessment of effects on fish are focused on the analysis of the electronic data that mills submitted to Environment Canada. These data were used to conduct a variety of statistical analyses, and, where possible, the results were compared with the mills' interpretive reports. Generally, there was good agreement between the results submitted by mills and the analyses carried out on the electronic data.

National Trends

The range in magnitude of effects was determined by calculating percent changes in each endpoint for exposure areas relative to reference areas. For example, the percent changes ranged from a decrease of 27% to an increase of 24% for condition factor, from a decrease of 90% to an increase of 286% for gonad weight, and from a decrease of 88% to an increase of 73% for liver weight.

Meta-analyses were conducted using the key fish endpoints, and effects were evaluated relative to the presence of several potential influencing factors, including gender, fish species, mill process type, effluent treatment type, and habitat of the receiving environment.

Both male and female fish showed similar responses for all but one of the endpoints, indicating that gender did not strongly influence fish results (Figure 7). Fish from the exposure area exhibited significant decreases in gonad weight, with the magnitude of effects being greater for females than for males. Condition, liver weight, and weight at age were all significantly increased in the exposure areas for both males and females. Moreover, female fish taken from exposure areas were significantly older, possibly due to the loss of juveniles, greater survival of older fish, or delayed maturity in female fish. A similar, although non-significant, effect on age was seen for males.

Response to effluent exposure was evaluated for 19 fish species. Figure 8 illustrates the meta-analysis results for the four most common species (white sucker, longnose sucker, yellow perch, trout-perch) for each of the five key endpoints. Nationally, the two most common species (white sucker and longnose sucker) showed a significant increase in liver weight, condition factor, and weight at age and a decrease in gonad weight. These responses were consistent with the overall national response pattern seen for all species combined. The longnose sucker also exhibited a significant age increase in exposure areas, again consistent with the national response pattern; the average age structure for white suckers, however, was not significantly different in exposure versus reference areas. Yellow perch showed significant decreases in condition factor, gonad weight, and weight at age, as well as a similar, although non-significant, decrease in liver weight. The responses exhibited by yellow perch were consistent with what is typically found in situations of food limitation.

The response pattern was fairly similar between the two most common mill process types, thermomechanical and kraft. Fish consistently exhibited a decrease in gonad weight and an increase in age, weight at age, liver weight, and condition for both thermomechanical and kraft mills, although the effect on liver was not significant for kraft mills (Figure 9).

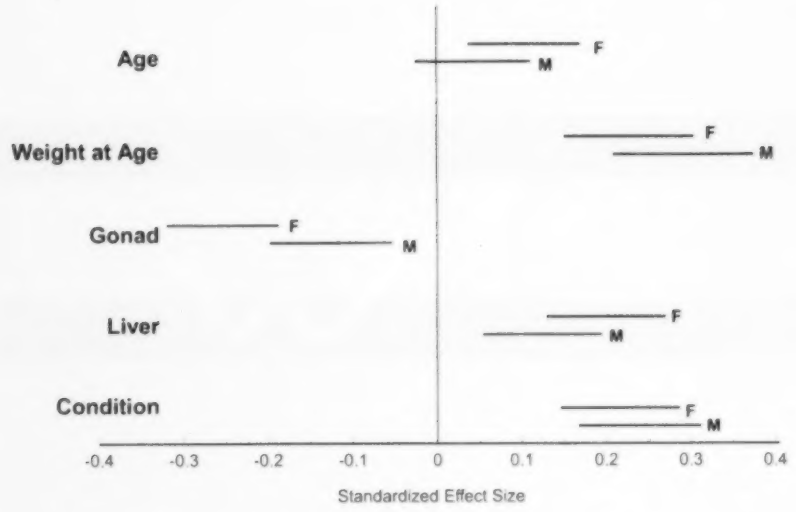

Figure 7: Effect of gender on the five key fish endpoints. M = male, F = female.

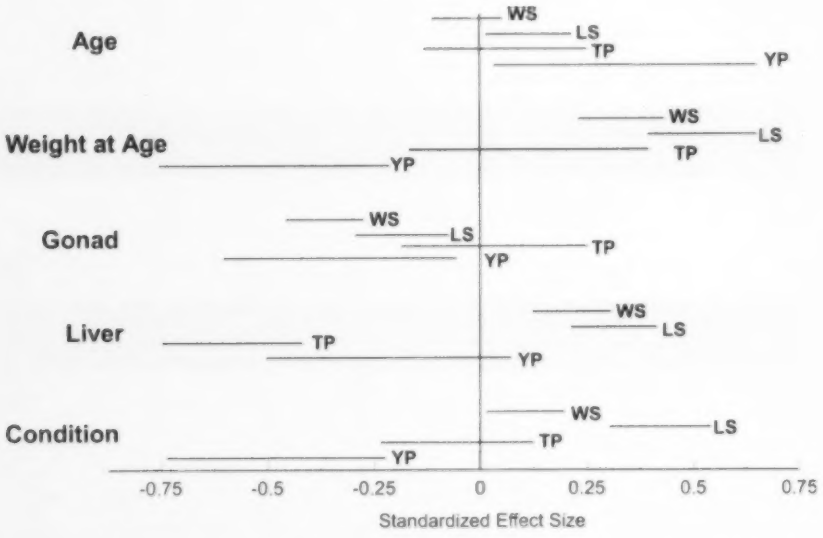

Figure 8: Effect of species on the five key fish endpoints. WS = white sucker; LS = longnose sucker; TP = trout-perch; YP = yellow perch.

The response pattern was also fairly similar between the two most common effluent treatment types, activated sludge treatment and aerated stabilization basin (Figure 10). Again, the response pattern was characterized by increased weight at age, liver weight, and condition and decreased gonad weight. Age was increased in both types of effluents, although this difference was not significant for aerated stabilization basin treatment.

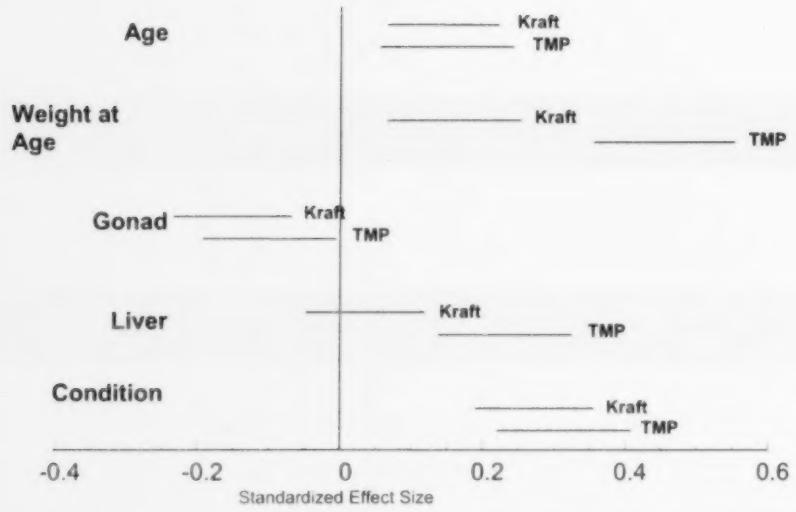

Figure 9: Effect of mill process type on the five key fish endpoints. Kraft = kraft mills; TMP = thermomechanical pulp mills.

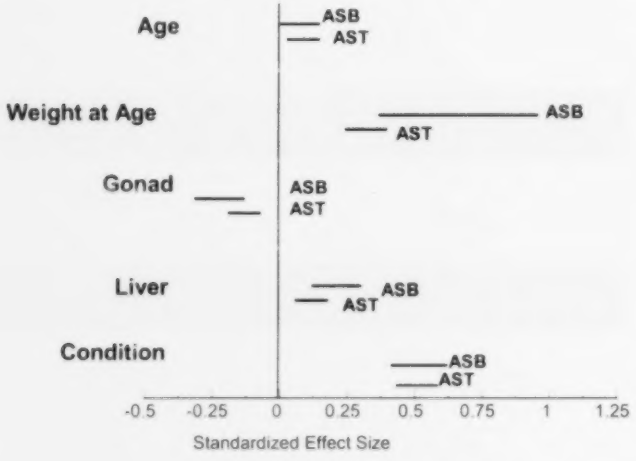

Figure 10: Effect of treatment type on the five key fish endpoints. ASB = aerated stabilization basin; AST = activated sludge treatment.

As for the benthic invertebrate analyses, the receiving areas were broken down into three habitat types: riverine, lacustrine, and marine/estuarine (Figure 11). All three habitat types showed a decrease in gonad weight, especially lakes and marine/estuarine sites. Condition factor was significantly increased for all three habitat types, liver weight was significantly increased for rivers and marine/estuarine sites, and weight at age was significantly increased for rivers and lakes. Age was significantly increased for rivers and significantly decreased in lakes and marine/estuarine receiving areas. In summary, rivers had significant changes in all five response variables, while lakes and marine/estuarine habitats had significant changes in four of the five variables.

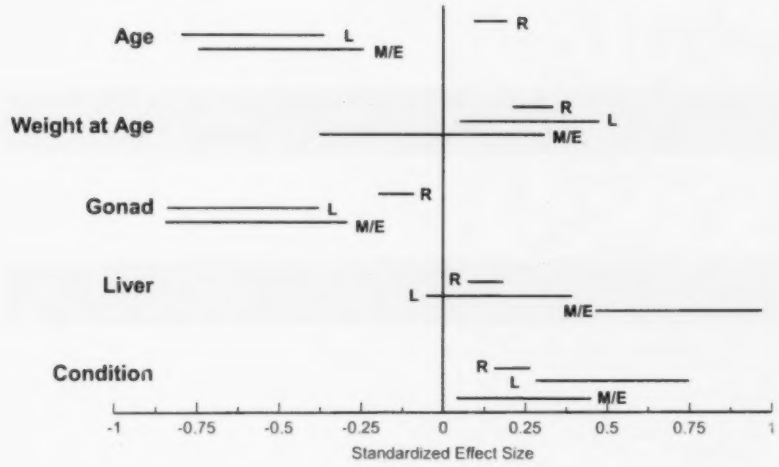

Figure 11: Effect of habitat on the five key fish endpoints. R = river; L = lake; M/E = marine/estuarine.

The predominant response pattern seen in fish across the country (decrease in gonad weight and increases in liver weight, condition, and weight at age) is believed to be indicative of some form of metabolic disruption in combination with a nutrient enrichment effect. Although the mechanism of such responses and their ecological importance remain unclear, these patterns of effects on a national scale may be related to some form of disruption of endocrine functioning, which is key to growth and reproductive development (Munkittrick, 2001). Together with this metabolic disruption effect, an increased in liver weight, and condition factor is often an indication of an increase in food availability or nutrient enrichment. The general pattern observed in Cycle 2 is consistent with what was observed in Cycle 1. Further research and continued EEM studies are required to understand these phenomena and to confirm the type, spatial extent, and ecological importance of these effects.

Overall National Response Patterns for Benthic Invertebrate Community and Fish Population Surveys

The results from the benthic invertebrate community and fish population surveys were quantitatively integrated using meta-analysis and mutivariate analysis to elucidate overall national response patterns. Good agreement was seen between the results for the two surveys. As expected, cases where fish exhibited a combined metabolic disruption/nutrient enrichment response were closely related to cases where benthic invertebrates were showing signs of eutrophication. Moreover, the results revealed that overall fish nutrient enrichment (without measurable metabolic disruption) may not be detected until the benthos reach a state of pronounced eutrophication. The results of these analyses showed that the two core components of the EEM field survey complement each other, each giving specific information on various aspects of the impact of effluent exposure.

The endpoints were each originally selected to measure a unique aspect of the way in which fish populations or benthic communities might respond to pulp mill effluent. The integrated analyses showed that this was achieved and confirmed that the core EEM endpoints are not redundant or repetitive. Each endpoint has value for describing a different (and partially independent) aspect of the nature of effluent effects. The elimination of any of the endpoints would run the risk of missing an important component of effluent effects.

Use of Fisheries Resources

The impact of pulp and paper mill effluent on the use of fisheries resources is evaluated through tainting tests, designed to determine if the taste of the fish is affected, and analyses for dioxins and furans in edible portions of fish.

Only two mills conducted a tainting study as part of Cycle 2. In one case the mill was identified as the cause of the taint, and measures are currently under way to mitigate this problem. In the other case, the tainting evaluation confirmed that tainting was an issue in the exposure area but the cause could not be identified.

In Cycle 1, mills that were using chlorine bleaching or had used chlorine bleaching in the past were required to conduct a tissue analysis of edible portions of fish for chlorinated dioxin and furan congeners. Where results were below fish consumption guidelines in these evaluations the mill was exempted from these analyses in future cycles. Cycle 1 results indicated that levels of dioxins and furans in edible fish tissue were low. As a result, in Cycle 2, only ten mills conducted fish tissue analyses for dioxins and furans, six of which had levels of dioxins and furans in fish tissue that exceeded Health Canada fish consumption guidelines. Continued monitoring is needed to determine the source of the dioxins and furans at these six sites.

Sublethal Toxicity

Sublethal toxicity tests allow mills to monitor the quality of their effluent and complement the field components of EEM studies. Within EEM, the results of sublethal tests on effluent or receiving water can be used to measure changes in toxicity over time, including those that are a result of changes in mill process or effluent treatment; evaluate the potential for effects in the receiving water; and estimate, in multiple-discharge situations, the relative contributions from various sources to any observed effects in the receiving environment.

The EEM sublethal toxicity data show that there has been a national improvement in effluent quality at Canadian pulp and paper mills between Cycles 1 and 2. This improvement is largely due to the installation of secondary treatment systems at most mills during this period. Figure 12 illustrates the important decreases in effluent toxicity between Cycles 1 and 2, using *Ceriodaphnia dubia* (an invertebrate species) as an example.

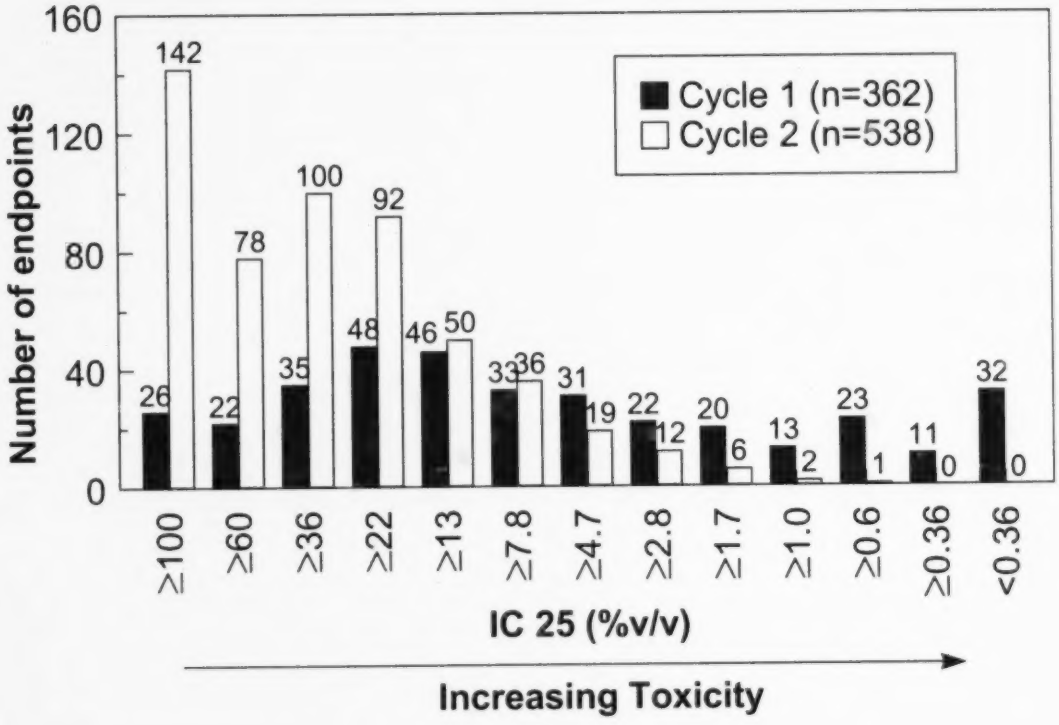

Figure 12: Summary of *Ceriodaphnia dubia* reproduction test results for Cycles 1 and 2

Overall Conclusions

The Canadian pulp and paper industry has invested billions of dollars towards research and technology aimed at reducing its emissions and effluent wastes. Today, most pulp and paper mills in Canada are equipped with at least primary and secondary treatment systems. Although mills have been successful in dramatically reducing the toxicity of their effluents, EEM data show that impacts continue in the aquatic environment.

On a national scale, the benthic invertebrate community surveys most commonly revealed a eutrophication response pattern as a result of exposure to pulp mill effluent. This nutrient enrichment effect, which was usually mild to moderate (but sometimes pronounced), was likely due to the phosphorus, nitrogen, and organic content of the effluent. EEM studies showed that study design and habitat type had some influence on the results. For example, riverine habitats showed mild eutrophication, marine/estuarine habitats showed signs of toxic or smothering effects, and lakes showed more intermediate responses.

Effects were also observed on fish downstream of pulp mill effluent, with the overall response pattern being one of combined metabolic disruption and nutrient enrichment. The national trend for fish was towards a decrease in gonad weight and an increase in liver weight, condition factor, and weight at age. Other response patterns were also observed, however, including ones expected under conditions of food limitation.

The integration of the results from the benthic invertebrate community and fish population surveys showed good agreement. That is, the combined metabolic disruption/nutrient enrichment observed in fish reflected the eutrophication results seen in benthos. The results also showed that a predominantly nutrient enrichment effect in fish (without measurable metabolic disruption) may not be detected until the benthos reach a state of pronounced eutrophication. This integration also showed that these two main components of the EEM field survey complement each other by revealing different aspects of the effects associated with effluent exposure.

The national EEM data assessment has revealed some important response patterns in the aquatic environments around pulp and paper mills. Although effluent quality has vastly improved since the 1992 Pulp and Paper Effluent Regulations were promulgated, effects on fish and their habitat, as measured by the benthic invertebrate community survey, are still being seen. More monitoring is needed to assess the ecological importance of the observed effects, and Environment Canada will continue to work with industry and other stakeholders to better understand their importance. These results are an excellent starting point and underline the importance of continued EEM.

Glossary

Activated sludge treatment – A treatment process for waste by-products, such as ink and fibre particles from recycled waste paper, whereby decomposing bacteria are purposely added to the sludge and the mixture is then agitated to dissolve oxygen. The remaining sludge is either landfilled or dried and burned.

Aerated stabilization basin – A treatment pond usually one to two metres deep, constructed to allow sunlight, microorganisms, and oxygen to interact to break down organic material. Aerated stabilization basins have improved oxygen transfer into the water by use of aerators.

Benthic invertebrate community – The interacting populations of small animals (excluding fish and other vertebrates), living on or at the bottom of a water body, on which fish may feed. Measuring changes in invertebrate communities helps to understand changes in aquatic habitats and provides an evaluation of the aquatic food resources available to fish.

Bray-Curtis index – An index that measures the degree of difference in community structure (especially community composition) between sites. This measure helps to evaluate the amount of dissimilarity between benthic invertebrate communities at different sites.

Condition factor – A measure of the physical condition of fish that describes the relationship between body weight and body length. Essentially, the condition factor measures how "fat" fish are at each area.

Control/Impact design – A study design consisting of no less than one reference area, usually upstream from the mill or situated in a different watershed, and a series of downstream exposure areas. This study design was most commonly used in rivers.

Depositional – Usually a section of a riverine habitat where the flow of water tends to be slower and therefore where sediment tends to deposit. The bottom substrate in these areas tends to be softer and more granular in nature.

Effect – In the context of the EEM program, an effect is a statistically significant difference between measurements taken from the exposure area and from the reference area.

Endocrine – The endocrine system controls a number of internal body functions via hormonal secretions, which are transported throughout the body in the blood.

Endpoint – A particular measurement that is used as an indicator of potentially important effluent effects on receiving water biota. Examples of endpoints are gonad weight, liver weight, condition factor, and weight at age for fish or abundance, taxon richness, Simpson's diversity index, and Bray-Curtis index for benthos.

Erosional – Usually a section of a riverine habitat where the flow of water tends to be faster and turbulent. In these areas, sediments are usually carried downstream. Generally, the bottom substrate in these sections tends to be made up of larger sediments, rocks, and boulders.

Eutrophication – The process of overfertilization of a body of water by nutrients that often results in excessive production of organic biomass and is typified by large numbers of organisms and, when pronounced, few species. Eutrophication can be a natural process, or it can be accelerated by an increase of nutrient loading to a water body by human activity.

Exposure area – A sampling area where fish and benthic invertebrates are exposed to pulp and paper mill effluent. This area may extend through a number of receiving environments and contain a variety of habitat types.

Gradient design – Generally, sampling is done along a gradient of decreasing effluent concentration, starting with exposure areas close to the mill and progressing towards less exposed areas farther from the mill. This study design was sometimes used in situations where rapid effluent dilution was a factor.

Kraft pulp mill – A mill that uses a full chemical wood pulping process to produce papers that are generally coarse, noted particularly for their strength, and, in unbleached grades, used primarily as wrappers or packaging materials.

Metabolic disruption – Metabolism is a mechanism used by the body whereby complex substances are synthesized from simple ones or by which complex substances are broken down. The disruption of this system can occur from exposure to deleterious substances in the environment and can cause important imbalances in the maturation, sexual behaviour, growth, etc. of the organism.

Nutrient enrichment – The effect of adding large quantities of organic and inorganic nutrients to the environment.

Reference area – A sampling area that has no effluent exposure from the pulp and paper mill in question and natural habitat features that are similar to those of the exposure areas, including anthropogenic impacts.

Simpson's diversity index – A measure of the character of a community that takes into account both the abundance patterns and the taxonomic richness of the benthic invertebrate community. It is calculated by determining, for each taxonomic group, the proportion of individuals that it contributes to the total sample.

Smothering – The overaccumulation of organic matter derived from pulp mill effluent at the bottom of a water body, impeding the functioning of organisms and sometimes causing death.

Sublethal toxicity – In the context of EEM, sublethal toxicity tests usually measure the proportion of organisms affected by their exposure to specific concentrations of pulp mill effluent. A sublethal toxicity test measures what is detrimental to the organism, but below the level that directly causes death within the test period.

Taxon richness – The total number of different taxonomic categories collected at a sampling station.

Taxon – Organisms are classified into categories based on similarities and evolutionary relationships between them. Each of these categories (e.g., species, genus, family, phylum, etc.) is called a taxon (plural taxa).

Thermomechanical pulp mill – A mill that uses a two-step process to produce pulp. First, wood chips are disintegrated by passing them through a special refiner pressurized with steam and refined through a series of chemical reactions at elevated temperatures. In the second stage, the refiners are set to the ambient temperature to treat the fibres so that they are ready for paper making. Thermomechanical pulp is generally very strong and is used to make coated or uncoated papers, such as papers for magazines, catalogues, directories, books, etc.

Total abundance – The total number of individuals of all taxonomic categories collected at the sampling station, expressed per unit area.

Weight at age – A measurement of the rate of growth of fish described by the relationship of size (weight) to age. Over the entire life span of a fish, the rate of increase in size usually declines as fish approach death.

References

Biermann, C.J. 1996. Pulping and paper making. Academic Press, San Diego, California.

Bothwell, M.L. 1992. Eutrophication of rivers by nutrients in treated kraft pulp mill effluent. Water Pollut. Res. J. Can. 27: 447–472.

Chambers, P.A., A.R. Dale, G.J. Scrimgeour, and M.L. Bothwell. 2000. Nutrient enrichment of northern rivers in response to pulp mill and municipal discharges. J. Aquat. Ecosyst. Stress Recov. 8: 53–66.

Culp, J.M., R.B. Lowell, and K.J. Cash. 2000a. Integrating mesocosm experiments with field and laboratory studies to generate weight-of-evidence risk assessments for large rivers. Environ. Toxicol. Chem. 19: 1167–1173.

Culp, J.M., C.L. Podemski, and K.J. Cash. 2000b. Interactive effects of nutrients and contaminants from pulp mill effluents on riverine benthos. J. Aquat. Ecosyst. Stress Recov. 8: 67–75.

Dubé, M.G. and J.M. Culp. 1996. Growth responses of periphyton and chironomids exposed to biologically treated bleached kraft pulp mill effluent. Environ. Toxicol. Chem. 15: 2019–2027.

Dubé, M.G. and D.L. McLatchy. 2000. Endocrine responses of *Fundulus heteroclitus* to effluent from a bleached-kraft mill before and after installation of reverse osmosis treatment of a waste stream. Environ. Toxicol. Chem. 19: 2788–2796.

Environment Canada. 1997. Fish monitoring, fish survey Section 5.1 Technical guidance document for pulp and paper environmental effects monitoring. Environment Canada, Ottawa, Ontario (EEM/1997/7).

Environment Canada. 1999. Canada's response to the recommendations in the Ninth Biennial Report of the International Joint Commission (www.on.ec.gc.ca/doc/ninth-ijc-response/dioxinfuran-e.html).

Environment Canada. 2002. Metal mining guidance document for aquatic environmental effects monitoring. National EEM Office, Environment Canada, Ottawa, Ontario (www.ec.gc.ca/eem).

Felder, D.P., S.J. D'Surney, J.H. Rodgers, Jr., and T.L. Deardorff. 1998. A comprehensive environmental assessment of a receiving aquatic system near an unbleached kraft mill. Ecotoxicology 7: 313–324.

Glozier, N.E., J.M. Culp, T.B. Reynoldson, R.C. Bailey, R.B. Lowell, and L. Trudel. 2002. Assessing metal mine effects using benthic invertebrates for Canada's Environmental Effects Program. Water Qual. Res. J. Can. 37: 251–278.

Gurevitch, J. and L.V. Hedges. 1993. Meta-analysis. Combining the results of independent experiments. Pages 347–369 *in* S.M. Scheiner and J. Gurevitch (eds.), Design and analysis of ecological experiments. Oxford University Press, New York.

Hall, T.J., R.K. Halley, and L.E. Lafleur. 1991. Effects of biologically treated kraft mill effluent on cold water stream productivity in experimental stream channels. Environ. Toxicol. Chem. 10: 1051–1060.

Hodson, P.V., K.R. Munkittrick, R. Stevens, and A. Colodey. 1996. A tier-testing strategy for managing programs of environmental effects monitoring. Water Qual. Res. J. Can. 31: 215–224.

Kovacs, T.G., J.S. Gifford, L.A. Tremblay, B.I. O'Conner, P.H. Martel, and R.H. Voss. 1995. The effects of a secondary-treated bleached kraft mill effluent on aquatic organisms as assessed by short-term and long-term laboratory tests. Ecotoxicol. Environ. Saf. 31: 7–22.

Lowell, R.B. and J.M. Culp. 1999. Cumulative effects of multiple effluent and low dissolved oxygen stressors on mayflies at cold temperatures. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56: 1624–1630.

Lowell, R.B. and J.M. Culp. 2002. Implications of sampling frequency for detecting temporal patterns during environmental effects monitoring. Water Qual. Res. J. Can. 37: 119–132.

Lowell, R.B., J.M. Culp, and F.J. Wrona. 1995. Stimulation of increased short-term growth and development of mayflies by pulp mill effluent. Environ. Toxicol. Chem. 14: 1529–1541.

Lowell, R.B., J.M. Culp, F.J. Wrona, and M.L. Bothwell. 1996. Effects of pulp mill effluent on benthic freshwater invertebrates: food availability and stimulation of increased growth and development. Pages 525–532 *in* M.R. Servos, K.R. Munkittrick, J.H. Carey, and G.J. Van Der Kraak (eds.), Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. St. Lucie, Delray Beach, Florida.

Lowell, R.B., J.M. Culp, and M.G. Dubé. 2000. A weight-of-evidence approach for northern river risk assessment: integrating the effects of multiple stressors. Environ. Toxicol. Chem. 19: 1182–1190.

Lowell, R.B., K. Hedley, and E. Porter. 2002. Data interpretation issues for Canada's Environmental Effects Monitoring Program. Water Qual. Res. J. Can. 37: 101–117.

McMaster, M.E., G.J. Van Der Kraak, C.B. Portt, K.R. Munkittrick, P.K. Sibley, I.R. Smith, and D.G. Dixon. 1991. Changes in hepatic mixed-function oxygenase (MFO) activity, plasma steroid levels and age at maturity of a white sucker (*Catostomus commersoni*) population exposed to bleached kraft pulp mill effluent. Aquat. Toxicol. 21: 199–218.

Munkittrick, K.R. 2001. Assessment of the effects of endocrine disrupting substances in the Canadian environment. Water Qual. Res. J. Can. 36(2): 293–302.

Munkittrick, K.R., M.R. Servos, J.H. Carey, and G.J. Van Der Kraak. 1997. Environmental impacts of pulp and paper wastewater: Evidence for a reduction in environmental effects at North American pulp mills since 1992. Water Sci. Technol. 35: 329–338.

Munkittrick, K.R., M.E. McMaster, L.H. McCarthy, M.R. Servos, and G.J. Van Der Kraak. 1998. An overview of recent studies on the potential of pulp mill effluents to impact reproductive function in fish. J. Toxicol. Environ. Health, Part B, 1: 101–125.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 1999. Canada. Pages 41–77 *in* Environmental requirements for industrial permitting: Country profiles on the pulp and paper sector: Part 2. Working Party on Pollution Prevention and Control, Environmental Directorate, OECD.

Owens, J.W. 1991. The hazard assessment of pulp and paper effluents in the aquatic environment: A review. Environ. Toxicol. Chem. 10: 1511–1540.

Rosenberg, M.S., D.C. Adams, and J. Gurevitch. 2000. MetaWin: Statistical software for meta-analysis. Version 2.0. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Servos, M.R., K.R. Munkittrick, J.H. Carey, and G.J. Van Der Kraak (eds.). 1996. Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. St. Lucie Press, Delray, Florida.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1998. Pulp and paper NESHAP: A plain English description. USEPA, Washington, D.C. (EPA-456/R-98-008).

Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers

Version provisoire du rapport synthèse

Bureau national des ESEE
Environnement Canada

Décembre 2002

Sommaire

Le programme national d'études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) exige des fabriques de pâtes et papiers du Canada qu'elles réalisent des études des environnements récepteurs afin d'évaluer et de surveiller tout effet possible de leurs effluents sur le poisson, l'habitat du poisson et l'utilisation des ressources halieutiques. Le programme d'ESEE est surtout axées sur la réalisation d'études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons, mais des renseignements connexes sur la toxicité sublétale des effluents, la qualité de l'eau et des sédiments et les tissus des poissons sont aussi obtenus lorsque cela est exigé.

Le présent document est un sommaire du rapport technique plus détaillé intitulé *Évaluation nationale des données de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers*.

Aux fins de la présente évaluation nationale, les données des études des communautés d'invertébrés benthiques ont été analysées en fonction du plan d'étude, du type d'habitat, du type de traitement des effluents et du type de procédés utilisés par les fabriques. À l'échelle nationale, les études des communautés d'invertébrés benthiques ont généralement montré l'existence d'une tendance à l'eutrophisation, notamment dans les cours d'eau, résultant de l'exposition aux effluents des fabriques de pâtes qui s'expliquait sans doute par la teneur en éléments nutritifs et en matières organiques des effluents. L'eutrophisation est une « surfertilisation » de l'eau qui peut perturber le fonctionnement normal de l'écosystème, donner lieu à la production de bactéries et d'algues nocives et réduire la valeur esthétique d'une zone. Cette réponse était généralement légère ou modérée, mais dans le cas de quelques fabriques, l'eutrophisation était plus prononcée. L'allure moyenne observée pour les habitats marins-estuariens indiquait l'existence d'effets toxiques ou d'étouffement et la réponse notée pour les lacs se situait entre celles des environnements fluviaux et marins-estuariens.

Les données des études des populations de poissons ont été analysées afin de déterminer l'ampleur des effets sur les mesures terminales principales en fonction du sexe et de l'espèce des poissons, du type de procédé de la fabrique du type de traitement des effluents et de l'habitat. Les principales tendances des réponses observées chez les poissons à la grandeur du pays étaient une diminution du poids des gonades et une augmentation du poids du foie, du facteur de condition et du poids selon l'âge. On croit que ces réponses indiquent une certaine forme de perturbation métabolique ou d'affaiblissement de la fonction endocrinienne combinée aux effets d'un enrichissement en éléments nutritifs.

Les résultats des études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons ont été quantitativement intégrés afin de mieux dégager les allures générales nationales des réponses. Il y avait bonne concordance entre les résultats des deux études. La réponse perturbation métabolique-enrichissement en éléments nutritifs notée chez les poissons présentait une relation étroite avec l'eutrophisation décelée chez le benthos. Les résultats montraient aussi que l'enrichissement global en éléments nutritifs des poissons (sans perturbation mesurable du métabolisme) pouvait ne pas être décelé avant que le benthos n'atteigne un stade d'eutrophisation prononcée. Dans des conditions où l'eutrophisation était moins prononcée les résultats obtenus pour les poissons montraient l'existence d'effets de perturbation métabolique même lorsque l'effet général sur les invertébrés en était simplement un d'eutrophisation. Par conséquent, les deux éléments principaux d'ESEE sur le terrain se complètent mutuellement en révélant des aspects différents des effets associés à une exposition aux effluents.

Les données de toxicité sublétale ont montré qu'il y a eu amélioration à l'échelle nationale de la qualité des effluents des fabriques canadiennes de pâtes et papiers entre la réalisation des cycles 1 et 2. Cette

baisse de la toxicité des effluents entre les deux cycles a été en partie attribuée à la mise en place de systèmes de traitement secondaire dans les fabriques du pays.

En général, les fabriques de pâtes et papiers n'empêchent pas les Canadiens d'utiliser le poisson. Dans un cas, l'effluent d'une usine de pâtes contribue à avarier le poisson, et il existe des cas isolés où les fabriques peuvent faire augmenter les concentrations de dioxines et de furannes dans le tissu des poissons. Environnement Canada continuera de travailler avec ces fabriques selon leur emplacement.

En résumé, la qualité des effluents s'est fortement améliorée depuis la promulgation, en 1992, du Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers, mais l'on décèle toujours des effets sur le poisson et l'habitat du poisson. Il faut poursuivre les études de suivi pour évaluer l'importance écologique des effets observés et Environnement Canada continuera de collaborer avec l'industrie et d'autres intervenants afin de mieux en comprendre la portée.

Table des matières

SOMMAIRE **2**

INTRODUCTION **5**

APERÇU HISTORIQUE DES EFFLUENTS DES FABRIQUES DE PÂTES ET PAPIERS **6**

ÉVALUATION NATIONALE DES DONNÉES DES ESEE **8**

ÉTUDE DE LA COMMUNAUTÉ D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES 8

Analyse des données de l'étude de la communauté d'invertébrés benthiques *8*

Tendances nationales *9*

ÉTUDE DES POPULATIONS DE POISSONS 15

Analyse des données de l'étude des populations de poissons *15*

Tendances nationales *15*

ALLURES GÉNÉRALES NATIONALES DES RÉPONSES OBTENUES DES ÉTUDES DES COMMUNAUTÉS D'INVERTÉBRÉS BENTHIQUES ET DES POPULATIONS DE POISSONS 19

TOXICITÉ SUBLÉTALE 20

CONCLUSIONS GÉNÉRALES **21**

GLOSSAIRE **23**

RÉFÉRENCES **26**

Introduction

En 1992, le Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers de la *Loi sur les pêches* a été modifié afin de rendre encore plus sévères les limites de rejet imposées pour les matières en suspension et la demande biochimique en oxygène des effluents et d'exiger que ces derniers ne présentent pas de létalité aiguë. Les fabriques ont donc été tenues de mettre en place des systèmes de traitement secondaire dans le cadre de leur processus de traitement des effluents. Ces limites plus sévères pour les rejets allaient permettre de mieux protéger l'environnement, mais l'on savait que ces seules mesures pourraient ne pas suffire à protéger adéquatement l'environnement aquatique dans tous les lieux. Par conséquent, la modification de 1992 du Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers prévoyait l'obligation de réaliser un programme d'études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE).

Le programme d'ESEE, d'envergure nationale, exige des fabriques de pâtes et papiers du Canada qu'elles réalisent des études de leurs environnements récepteurs afin d'évaluer et de surveiller des effets possibles de leurs effluents. Le fait que le ESEE soit spécifique aux sites suppose la réalisation d'évaluations répétées des effets possibles des effluents sur le poisson, l'habitat du poisson et l'utilisation des ressources halieutiques. La structure du programme prévoit la réalisation d'étapes de suivi et d'interprétation de trois ans appelées « cycles ». Au début de chaque cycle, la fabrique doit élaborer un programme de suivi propre à son site en collaboration avec les fonctionnaires régionaux d'Environnement Canada et doit, à la fin de chaque cycle, présenter des rapports d'interprétation résumant les travaux réalisés sur le terrain et interprétant les résultats obtenus. La structure du programme d'ESEE garantit un certain niveau d'uniformité nationale en ce qui a trait à la façon dont les fabriques font le suivi des effets de leurs effluents sur l'environnement.

Le programme d'ESEE prévoit une évaluation à long terme des incidences des effluents sur l'environnement aquatique qui suppose un minimum de plusieurs cycles (15–20 années) pour évaluer l'état de l'environnement récepteur et bien comprendre l'importance de tout effet. Le programme permet aussi d'obtenir des réponses quantitatives et qualitatives à des questions claires et bien définies par la mesure des réponses des organismes et des populations à la présence d'effluents dans les zones exposées et les zones de référence (Hodson *et al.*, 1996). Il fait appel à une démarche par étapes pour le suivi qui comprend la réalisation d'études préliminaires pour la caractérisation et l'évaluation de l'état de l'environnement récepteur qui sont suivies d'études ciblées une fois que des effets ont été décelés ou par un suivi réduit si aucun effet n'est décelé. Cette structure permet de minimiser les coûts tout en assurant la fiabilité scientifique et la souplesse du programme.

L'ESEE comporte les éléments suivants :

- une étude de la population de poissons afin de déterminer la santé du poisson;
- une étude de la communauté d'invertébrés benthiques afin d'évaluer l'habitat du poisson;
- une étude des dioxines et des furannes présents dans les tissus des poissons comestibles et une étude de leur altération à titre d'étude du potentiel d'utilisation des ressources halieutiques;
- une évaluation de la toxicité sublétale visant à déterminer la qualité des effluents;
- la mesure de variables d'appui de la qualité de l'eau et des sédiments afin de faciliter l'interprétation des données biologiques.

Les études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons font appel à un ensemble choisi de mesures terminales des « effets » qui servent d'abord de base au suivi subséquents, mais qui permettent aussi de mieux comprendre la nature réelle des incidences (au niveau du site) des rejets d'effluents des fabriques de pâtes et papiers. Dans le contexte des ESEE, un « effet » est une réponse significative du point de vue statistique pour au moins une des mesures terminales choisies après comparaison des échantillons biologiques prélevés à proximité d'une fabrique (zone exposée) avec

d'autres échantillons prélevés dans une zone de référence. La zone de référence est une zone de prélèvement dont les caractéristiques ressemblent le plus possible à celles de la zone exposée (p. ex., habitat, qualité de l'eau, caractéristiques hydrologiques), mais où sont absents les effluents de la fabrique. Au contraire des données obtenues sur le terrain, les variables d'appui et les données de toxicité sublétale ne sont pas utilisées pour déterminer l'existence « d'effets » environnementaux au site de la fabrique. Elles servent plutôt à obtenir de l'information supplémentaire sur des paramètres pouvant influer ou non sur des effets observés.

Les mesures terminales des ESEE utilisées pour les études de la communauté d'invertébrés benthiques et de la population de poissons sont les suivantes :

Mesures terminales de l'étude de la communauté d'invertébrés benthiques :
Abondance totale
Richesse taxonomique
Indice de dissimilitude de Bray-Curtis
Diversité (ou régularité) de Simpson

Mesures terminales de l'étude de la population de poissons :
Poids des gonades
Facteur de condition
Poids du foie
Poids selon l'âge
Âge

Le présent document constitue un sommaire du rapport technique plus détaillé intitulé *Évaluation nationale des données de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers.* L'évaluation nationale des données du programme d'ESEE a comme objectif premier d'évaluer le type et l'ampleur des effets sur les populations de poissons et les communautés d'invertébrés benthiques exposées aux effluents des fabriques de pâtes et papiers au Canada. L'évaluation a été effectuée selon un ensemble de questions fondamentales ou de secteurs d'intérêt prioritaire définis par les scientifiques d'Environnement Canada. Ces questions étaient essentielles à la détermination de l'efficacité des ESEE pour l'évaluation des effets des effluents des fabriques de pâtes et papiers sur les environnements aquatiques et l'obtention des renseignements nécessaires à la compréhension de l'importance écologique des effets déjà décelés.

En plus des secteurs prioritaires déterminés, une analyse des données de toxicité sublétale a été effectuée afin d'évaluer les variations globales de la toxicité des effluents avant et après la mise en oeuvre d'un traitement secondaire dans la plupart des fabriques. D'autres éléments du programme national d'ESEE (dioxines et furannes dans les tissus des poissons comestibles et altération de ces tissus) n'ont pas fait l'objet de l'analyse étant donné le petit nombre de fabriques qui étaient tenues d'effectuer de telles études.

Aperçu historique des effluents des fabriques de pâtes et papiers

Les pâtes et papiers sont fabriqués à partir de trois principaux types de fibres : fibres de bois, fibres recyclées et fibres autres que celles du bois, comme celles du coton, du chanvre, etc. (USEPA, 1998). La majorité des produits de pâtes et papiers sont obtenus à partir de fibres de bois et une grande partie de ces produits l'est par le procédé de fabrication de la pâte kraft qui permet d'obtenir des produits tels que le papier à lettres, les sacs en papier et le carton. Le procédé à la soude et au sulfite compte parmi les processus de fabrication de la pâte qui font essentiellement appel à des procédés chimiques. Le processus de fabrication de la pâte mécanique, qui comporte le déchiquetage ou le défibrage de copeaux de bois et qui donne des rendements élevés en pâte, est généralement utilisé pour le papier journal ou le papier de catalogues (Biermann, 1996). Enfin, il y a la fabrication de la pâte mi-chimique qui combine les méthodes chimiques et mécaniques (USEPA, 1998) et qui sert surtout à la fabrication du carton ondulé.

Ébauche

Le traitement des effluents comporte trois niveaux : primaire, secondaire et tertiaire. Le traitement primaire, par lequel les matières solides sont retirées de l'eau par sédimentation, était largement répandu dans les années 1950 (Biermann, 1996). Aujourd'hui, les fabriques effectuent généralement au moins un traitement secondaire, en plus du primaire, qui consiste à faire réagir les effluents avec l'oxygène et les microorganismes afin d'en retirer les matières qui consomment l'oxygène et d'en réduire la toxicité de façon appréciable (Biermann, 1996). Les procédés de traitement secondaire les plus couramment utilisés au Canada sont la stabilisation en bassins aérés et le traitement par boues activées. Les procédés de traitement tertiaire, qui sont les plus avancés, sont utilisés après le traitement secondaire et servent souvent à la décoloration (Biermann, 1996).

À cause de sa diversité, l'industrie des pâtes et papiers peut rejeter une large gamme de composés dans l'environnement aquatique. Les recherches réalisées sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers ont porté sur les fibres et les matières en suspension, la couleur et la turbidité et les charges d'enrichissement en matières organiques et en éléments nutritifs, soit les trois facteurs classiques de pollution ayant des effets nocifs sur l'environnement (Owens, 1991). Plus précisément, la demande biochimique en oxygène, les matières en suspension et la toxicité aiguë comptaient parmi les principaux paramètres jugés préoccupants. Les dioxines et les furannes, qui persistent longtemps dans l'environnement, présentent une forte affinité pour les sédiments et sont susceptibles de bioaccumulation, étaient aussi source de préoccupation pour les collectivités en aval des fabriques, surtout celles où la consommation de poissons était élevée.

Le règlement de 1971 adopté en vertu de la *Loi sur les pêches* ne s'appliquait qu'aux fabriques construites après cette date et de nombreuses fabriques plus vieilles continuaient de déverser des effluents non conformes au nouveau règlement. Cela devenait de plus en plus inacceptable et il fallait effectuer un examen des fabriques canadiennes dans le contexte des réponses biologiques, ce qui a été réalisé en partie avec l'adoption, en 1992, d'un ensemble de mesures de réglementation des fabriques de pâtes et papiers à l'échelle nationale s'adressant à l'industrie canadienne. Cette nouvelle réglementation, qui constituait une mise à jour du règlement de 1971, ne s'appliquait pas seulement à toutes les fabriques, mais imposait aussi des limites de rejet en ce qui touche la demande biochimique en oxygène et les matières en suspension en plus d'interdire le rejet de tout effluent présentant une létalité aiguë pour le poisson (OCDE, 1999). En 1992, les dioxines et les furannes ont fait l'objet d'une réglementation en vertu du Règlement sur les dioxines et les furannes chlorés dans les effluents des fabriques de pâtes et papiers de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement,* et ces substances ont été en grande partie éliminées des effluents des fabriques de pâtes et papiers au cours des années 1990 (Environnement Canada, 1999).

Bien que le nouveau règlement avait pour objet de s'attaquer à divers problèmes liés aux changements survenant dans les écosystèmes aquatiques à proximité des fabriques de pâtes et papiers, on s'inquiétait toujours des lacunes à combler dans l'étendue réelle du problème. Il demeurait aussi beaucoup d'incohérences en ce qui a trait au niveau et à l'intensité du suivi biologique réalisé aux fabriques construites après 1971 et qui faisaient l'objet de la pleine application du règlement. Les modifications apportées à la *Loi sur les pêches* après l'adoption de l'ensemble de mesures réglementaires prévoyaient la réalisation d'un programme d'ESEE visant les fabriques de pâtes et papiers au Canada. On espérait que la mise en oeuvre d'un tel programme permettrait de réduire les incertitudes liées à l'incohérence des travaux de suivi biologique.

La mise en oeuvre de cette nouvelle réglementation et les pressions de plus en plus fortes exercées sur l'environnement ont donné lieu à un développement plus poussé des procédés de traitement de l'industrie qui s'est traduit par une amélioration importante de la composition chimique et par une baisse de la toxicité des effluents finals et par une réduction appréciable de la menace potentielle pour l'environnement (Bothwell, 1992; Servos *et al.*, 1996; Dubé et McLatchy, 2000). Vers la fin des années

1990, certaines études commençaient à faire état de signes précurseurs de rétablissement des paramètres de la reproduction du poisson à plusieurs fabriques qui avaient modernisé leurs procédés (Munkittrick *et al.*, 1997). L'amélioration du traitement des effluents des fabriques de pâtes a aussi donné lieu à une réduction appréciable de l'incidence des effets toxiques et des effets d'eutrophisation avancée sur les communautés d'invertébrés benthiques (Lowell *et al.*, 1996, 2000; Felder *et al.*, 1998; Chambers *et al.*, 2000; Culp *et al.* 2000a,b; Lowell et Culp, 2002).

En dépit de toutes ces améliorations, il y a encore des inquiétudes quant aux incidences à long terme des effluents sur l'environnement aquatique. La composition chimique de chacun des effluents varie de façon très marquée, ce qui rend difficile l'évaluation de leurs effets sur l'environnement. De plus, la complexité et la variabilité naturelle des systèmes biologiques compliquent l'obtention de réponses définitives en ce qui a trait aux incidences des effluents sur l'environnement (Kovacs *et al.*, 1995). Cependant, les principes qui guident le programme d'ESEE, fondé sur une conception propre à chaque site et l'application de méthodes standardisées, ont clairement montré que l'on pouvait acquérir des connaissances sur les effets des effluents sur l'environnement. Cette évaluation nationale permet d'obtenir, pour la première fois, des réponses à des questions touchant les effets des effluents en se fondant sur des données scientifiques dans grande étendue géographique recueillies dans l'environnement récepteur.

Évaluation des données du ESEE national

Étude de la communauté d'invertébrés benthiques

L'étude de la communauté d'invertébrés benthiques permet d'évaluer les ressources alimentaires aquatiques disponibles pour les poissons de même que le degré de dégradation de l'habitat. Au cours des cycles 1 et 2 du programme national d'ESEE, la plupart des fabriques ont signalé l'existence de différences statistiques significatives entre la structure de la communauté d'invertébrés benthiques des zones exposées et celle des zones de référence. Certains de ces différences pouvaient s'expliquer par l'influence confondante de facteurs externes aux fabriques, même si des améliorations avaient été apportées au plan de l'étude après le cycle 1 afin d'éliminer ces facteurs. Au cours du cycle 2, les fabriques de tout le pays ont signalé une amélioration générale des conditions des communautés d'invertébrés benthiques des zones exposées. Dans bon nombre de cas, l'amélioration des conditions s'expliquait par un meilleur traitement des effluents, particulièrement à la suite de la mise en place d'un procédé secondaire, qui donnait lieu à des réductions appréciables de la toxicité sublétale des effluents. Quelques fabriques ont signalé une détérioration des conditions de la communauté benthique, mais, dans la plupart des cas, cela était attribuable à la modification de facteurs indépendants des fabriques.

Analyse des données des études de la communauté d'invertébrés benthiques

L'étude de la communauté d'invertébrés benthiques est l'un des deux éléments fondamentaux du programme d'ESEE. Deux principaux plans d'étude des invertébrés benthiques ont été utilisés pour le cycle 2 : contrôle-impact et gradient. Le plan contrôle-impact suppose l'utilisation d'un ou de plusieurs groupes distincts de stations d'échantillonnage exposées aux effluents des fabriques (normalement en aval des fabriques) et d'un autre groupe de stations non exposées, (souvent situées en amont). Le plan par gradient comporte l'utilisation de stations d'échantillonnage réparties de façon plus ou moins continue selon un gradient de zones allant des plus au moins exposées, c'est-à-dire de zones situées à proximité du point de rejet des effluents vers des zones plus éloignées, où l'effluent sont beaucoup plus dilués (pour des précisions, voir Environnement Canada, 2002; Glozier *et al.*, 2002; Lowell *et al.*, 2002).

L'évaluation nationale des données d'ESEE a été réalisée, du moins en partie, par des comparaisons statistiques des valeurs de mesures terminales des communautés d'invertébrés benthiques de zones exposées et de zones de référence qui ont été obtenues selon le plan contrôle-impact. L'analyse des données du plan par gradient a été effectuée par régression des valeurs des mesures terminales par rapport à la distance au point de rejet. Les résultats des analyses fondées sur le plan contrôle-impact et le plan par gradient ont ensuite été intégrés à l'aide d'une procédure analytique statistique détaillée, la méta-analyse, qui facilite la synthèse d'un grand nombre d'études indépendantes (Gurevitch et Hedges, 1993; Rosenberg *et al.*, 2000;). La méta-analyse a fourni un indice quantitatif des conclusions générales qui pourraient être tirées sur la nature des effets liés aux effluents et apporté certaines réponses à des questions auxquelles il serait très difficile de répondre à l'échelle d'une seule fabrique, notamment l'influence du type d'habitat, du type de traitement des effluents et des procédés utilisés par la fabrique sur les effets observés sur le terrain. Ainsi, l'évaluation des ESEE national porte sur divers points auxquels on avait prêté peu d'attention, si ce n'est aucune, antérieurement.

Les résultats des méta-analyses sont présentés sous forme résumée dans la figure 1. L'axe des x représente l'ampleur de l'effet standardisé et la ligne verticale, l'absence d'effet. Les résultats obtenus pour chaque groupe de fabriques sont présentés sous la forme d'un intervalle de confiance de 95 % (segment de ligne horizontal), la marque de graduation indiquant l'ampleur moyenne de l'effet pour ce groupe de fabriques. Les distributions des fabriques (intervalles de confiance de 95 %) situées à la droite de la ligne d'effet nul indiquent que l'effet moyen associé à l'exposition aux effluents est une augmentation de la valeur de la mesure terminale. De même, les distributions des fabriques se situant à la gauche de la ligne d'effet nul indiquent une réduction de la valeur de la mesure terminale associée aux effluents. Dans la mesure où les intervalles de confiance de 95 % ne chevauchent pas la ligne d'effet nul en aucun point, l'augmentation ou la réduction est jugée significative du point de vue statistique pour le groupe dans son ensemble, mais le groupe peut aussi englober des sous-groupes présentant des effets significatifs du point de vue statistique.

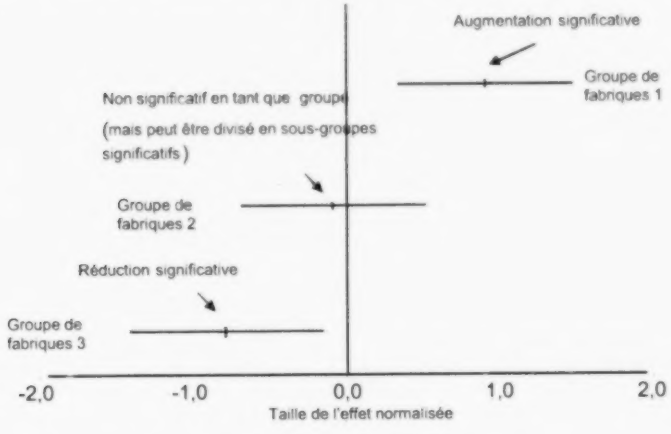

Figure 1 : Représentation schématique de la méta-analyse

Tendances nationales

Des études antérieures ont permis de mieux comprendre les effets escomptés des effluents des fabriques de pâtes sur les communautés d'invertébrés benthiques (Lowell *et al.*, 1995, 1996, 2000; Lowell et Culp, 1999, 2002; Culp *et al.*, 2000a,b) et la nature générale de ces effets interdépendants sur les valeurs des mesures terminales de l'abondance, de la richesse taxonomique et de la structure des communautés est

résumée dans la figure 2. Dans cette figure, l'axe des x indique une progression d'une meilleure qualité des effluents et des effets moins nocifs, vers la gauche, à des effluents de très mauvaise qualité et à des effets nocifs plus importants, vers la droite. Des effets antérieurs (p.ex., effets d'étouffement par le tapis de fibres produits au cours de plusieurs années d'exploitation de la fabrique) peuvent aussi jouer un certain rôle.

L'enrichissement en éléments nutritifs (ou eutrophisation) s'accroît généralement de la gauche vers la droite, comme la toxicité ou les effets d'étouffement. Cet enrichissement peut souvent être mesuré à des concentrations d'effluents inférieures aux concentrations toxiques et les effets toxiques sont souvent masqués par l'eutrophisation quand les concentrations sont faibles ou moyennes. Une légère eutrophisation se caractérise par une augmentation tant de l'abondance que de la richesse en taxons. On note, encore plus à droite, que l'eutrophisation modérée correspond à une augmentation moindre de la richesse en taxons, bien qu'il puisse y avoir encore augmentation de l'abondance. Une eutrophisation plus prononcée correspond généralement à une diminution de la richesse en taxons même si l'abondance est plus grande que celle notée dans les zones de référence. Enfin, une diminution de la richesse en taxons et de l'abondance est habituellement signe d'effets inhibiteurs généralisés, comme ceux associés à la toxicité ou à l'étouffement.

Dans le cadre du programme d'ESEE, les modifications dans la composition de la communauté des invertébrés sont déterminées à partir de la variation de l'indice de dissimilitude de Bray-Curtis. La valeur de cet indice s'accroît à mesure que la détérioration de la qualité des effluents donne lieu à de plus importants changements dans la composition de la communauté. Cela est illustré au bas de la figure 2, mais il faut se rappeler que les variations de la composition de la communauté ne sont pas toujours liées à des changements dans l'abondance totale et la richesse en taxons. Les communautés benthiques peuvent être perturbées de diverses façons, car des effets directs et indirects complexes font que l'exposition aux effluents peut donner lieu à des effets prononcés sur la composition de la communauté en l'absence d'effets aussi prononcés sur l'abondance ou la richesse en taxons, ou vice-versa.

Les effets généraux moyens sur les communautés d'invertébrés benthiques que l'on associe à l'exposition aux effluents sont illustrés dans la figure 3. Ces moyennes reflètent celles qui ont été déterminées dans tout le pays pour tous les types d'habitats et, comme c'est le cas des figures qui suivent, mettent l'accent sur les fabriques qui ont eu recours au plan d'étude contrôle-impact. En résumé, l'abondance totale se situait bien à droite de la ligne de l'effet nul (ligne verticale), ce qui signifie que l'effet le plus courant associé à l'exposition aux effluents était une augmentation du nombre d'invertébrés. Il s'agit là d'une réponse d'eutrophisation bien connue à l'exposition aux effluents des fabriques de pâtes et papier (Hall *et al.*, 1991; Dubé et Culp, 1996; Chambers *et al.*, 2000; Culp *et al.*, 2000a,b; Lowell *et al.*, 2000; Lowell et Culp, 2002) et s'explique par les effets d'enrichissement du phosphore, de l'azote et des matières organiques présents dans les effluents.

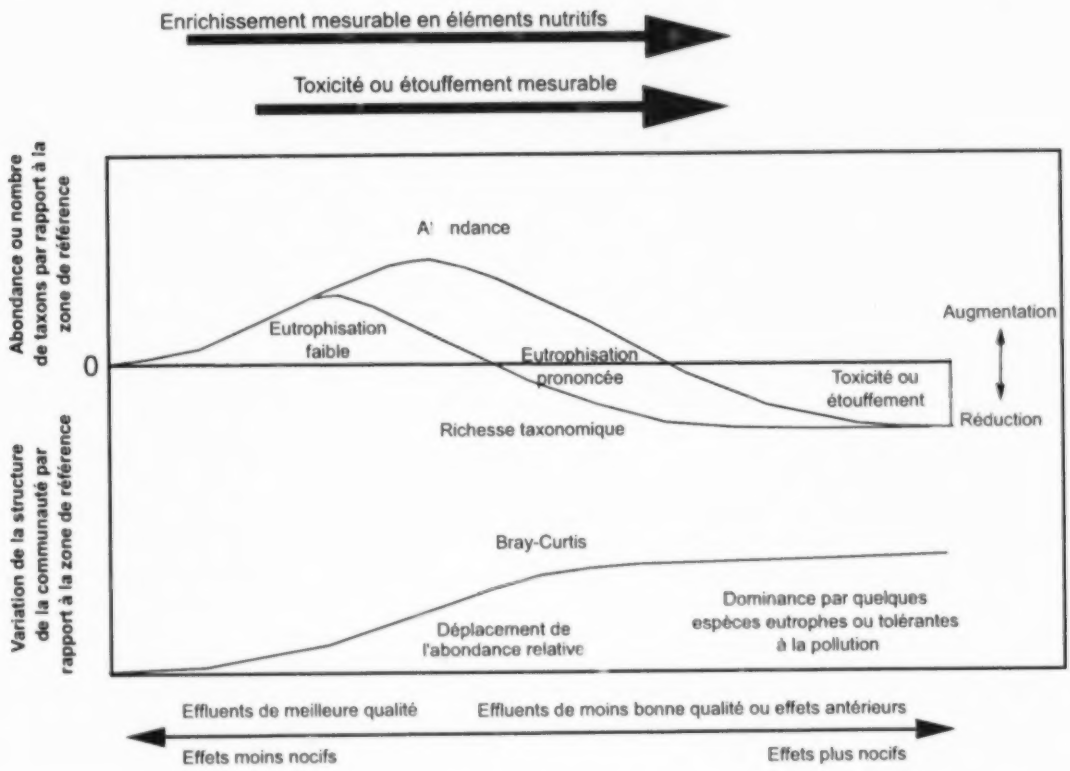

Figure 2 : Allures des réponses prévues (modifié d'après Lowell *et al.*, 2000; voir aussi Culp *et al.*, 2000a)

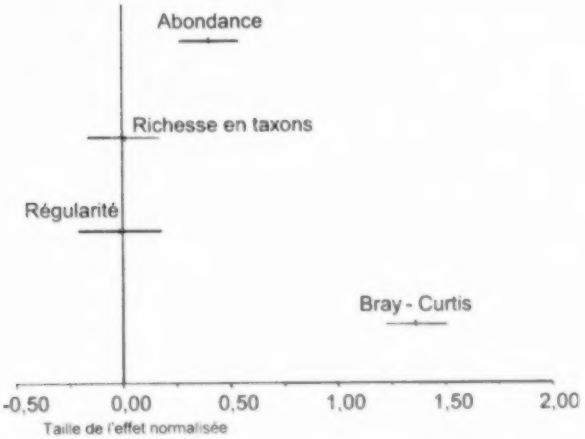

Figure 3 : Moyenne générale des mesures terminales pour les invertébrés benthiques – plans d'étude contrôle-impact

La figure 3 montre, qu'au contraire de l'abondance, la moyenne générale de la richesse taxonomique se rapprochait de zéro. Cela indique une distribution plus uniforme des fabriques présentant une augmentation, une diminution ou l'absence d'un changement significatif du nombre de taxons. Prises ensemble, les distributions de l'abondance et de la richesse taxonomique montrent que l'effet le plus courant noté dans tout le pays est une augmentation de l'abondance associée à une augmentation ou à une constance de la richesse taxonomique, ce qui est le signe d'une faible eutrophisation (comme cela est illustré dans la figure 2). Les fabriques, en nombre restreint, pour lesquelles on notait une augmentation de l'abondance et une diminution de la richesse taxonomique étaient celles où l'on présentait aussi les indices habituels d'une eutrophisation plus prononcée. La moyenne générale pour la régularité se rapprochait de zéro, ce qui indique aussi une plus grande uniformité de la distribution des fabriques où l'on observait une augmentation, une diminution ou aucune variation significative de la régularité. Par ailleurs, la moyenne générale pour l'indice de Bray-Curtis était positive et fortement significative. Cela montre l'existence de modifications nettes de la composition de la communauté d'invertébrés benthiques dans les zones exposées au pays. La façon dont cet indice est calculé fait en sorte que toute modification de la composition des communautés dans les zones exposées donne lieu à des valeurs positives (non négatives), les effets plus importants se traduisant par des valeurs plus élevées. Cette mesure terminale est très sensible de sorte que sa réponse est plus marquée. Les effets décelés représentés par l'indice de Bray-Curtis ont donc tendance à être fortement significatifs.

Les effets sur les communautés d'invertébrés benthiques associés aux effluents variaient de façon significative en fonction des divers types d'habitats. Les principaux types d'habitats sont l'habitat fluvial (cours d'eau) d'érosion ou de sédimentation, lacustre (lacs) et marin-estuarien. L'abondance était accrue de façon appréciable dans les habitats fluviaux tant d'érosion que de sédimentation tandis que la distribution des réponses pour la richesse taxonomique aux fabriques variait généralement de accrue à aucune variation appréciable (figure 4). Cette combinaison de réponses indique un effet moyen de faible eutrophisation dans les zones fluviales exposées. Au contraire, tant l'abondance que la richesse taxonomique diminuaient dans les habitats marins-estuariens, une réponse indiquant un effet de toxicité ou d'étouffement. Cette réponse inhibitrice dans les habitats marins-estuariens s'explique sans doute par une combinaison de facteurs, notamment la détérioration de l'habitat à plusieurs fabriques en milieu marin due au dépôt avec le temps de tapis de fibres. Dans les habitats fluviaux d'érosion, les données portent à croire à une réduction de la régularité dans les zones exposées, ce qui peut indiquer la sensibilité des organismes de ces habitats à une eutrophisation même légère. Au contraire, la régularité était presque accrue de façon significative dans les zones marines-estuariennes exposées, ce qui porte à croire que les effets de toxicité ou d'étouffement peuvent avoir donné lieu à la perte de taxons plus rares, ne laissant qu'un nombre restreint et plus uniformément répart de taxons tolérants à la pollution.

Les plus importants effets sur les sous-groupes d'habitats dans les zones exposées ont été notés pour la mesure terminale sensible de l'indice de Bray-Curtis. Les variations de la composition de la communauté liées à l'exposition principales, et de beaucoup, ont été celles déterminées pour les habitats lacustres, contrairement aux autres mesures terminales, où les effets dans les lacs étaient plutôt intermédiaires. Cela montre que, dans des conditions environnementales différentes, les effets liés aux effluents peuvent se manifester de diverses façons et souligne l'importance de mesurer les variations de la structure de la communauté en utilisant plusieurs mesures terminales afin de mieux cerner les effets importants.

Au Canada, les fabriques de pâtes utilisent des procédés de traitement des effluents et des procédés de fabrication très variés. Les fabriques ont été regroupées en grandes catégories afin de déterminer si certains procédés de traitement des effluents ou de fabrication étaient liés à une augmentation ou à une réduction des effets sur l'environnement et de savoir si les divers groupes étaient plus ou moins équivalents quant à leurs effets. Les deux types de procédés de fabrication les plus courants étaient celui de la pâte kraft et celui de la pâte thermomécanique et les deux types de traitement des effluents les plus

courants étaient celui des boues activées et celui des bassins de stabilisation aérés. Ces procédés représentant la plus grande partie des fabriques, les tendances observées au cours des méta-analyses s'appliquent à l'échelle nationale.

L'allure des réponses pour l'abondance et la richesse taxonomique était semblable pour les deux grands types de traitement des effluents et reflétait le faible niveau d'eutrophisation habituellement observé pour les communautés d'invertébrés benthiques au moment du cycle 2 (figure 5). Les deux principaux types de traitement des effluents s'avéraient, eux-aussi, similaires en ce qui touche les effets sur la régularité et ne différaient pas de façon significative de la valeur zéro. En résumé, l'ampleur des effets était plus importante pour la mesure terminale de l'indice de Bray-Curtis et les variations de la composition de la communauté déterminées étaient passablement semblables pour les deux types de traitement.

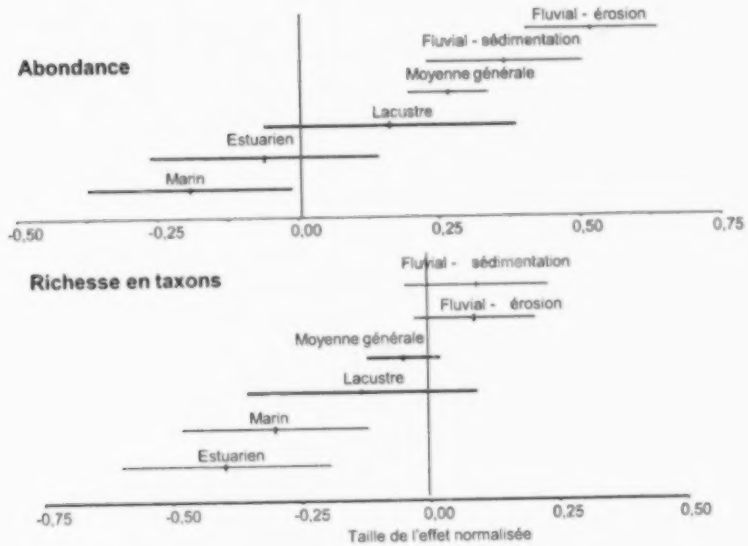

Figure 4 : Influence de l'habitat sur l'abondance et la richesse en taxons (fabriques - plans contrôle-impact et par gradient)

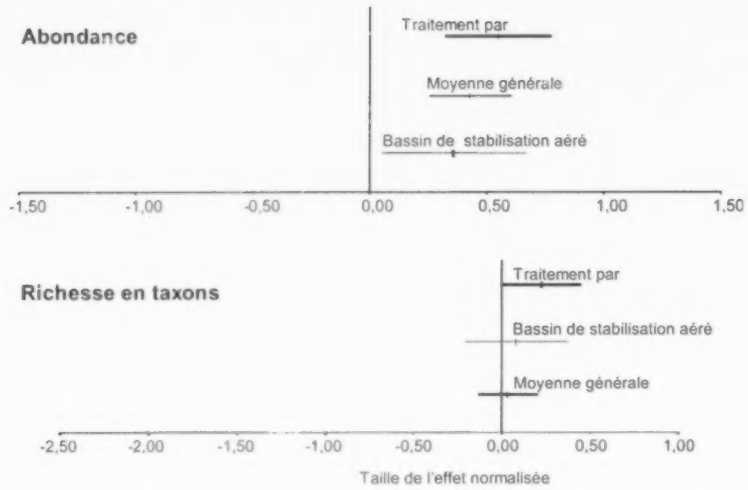

Figure 5 : Influence du traitement des effluents sur l'abondance et la richesse en taxons (fabriques – plans contrôle-impact)

L'abondance dans les zones exposées s'est accrue de façon significative pour les deux types de procédés de fabrication les plus courants (figure 6). Ces deux types différaient cependant pour ce qui est de la mesure terminale de la richesse taxonomique, les résultats portant à croire à une eutrophisation plus légère pour les fabriques de pâtes kraft et une eutrophisation plus prononcée pour les fabriques de pâtes thermomécaniques, cela à l'échelle nationale. La mesure terminale de la régularité présentait des réponses plutôt similaires pour les deux types de procédés. Selon les résultats obtenus, les fabriques qui présentaient une augmentation ou une diminution significative de la régularité ne pourraient être distinguées par le type de procédé. L'ampleur de l'effet était plus important pour la mesure terminale de l'indice de Bray-Curtis, mais la différence n'était pas significative entre les deux types de procédés.

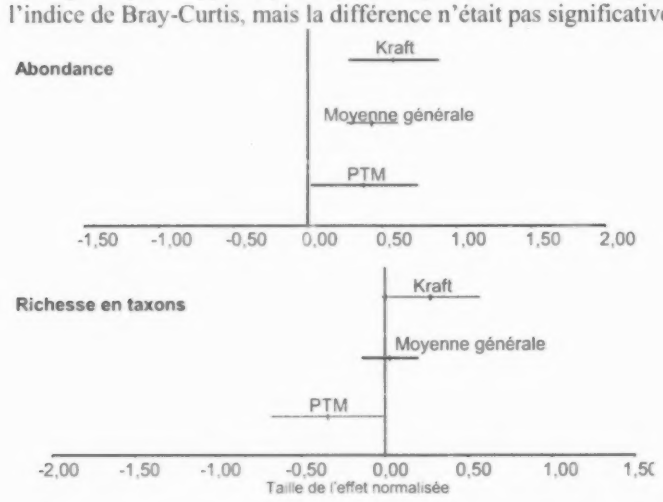

Figure 6 : Influence du procédé de fabrication sur l'abondance et la richesse en taxons (fabriques - plans contrôle-impact). Kraft = fabriques de pâte kraft; PTM = fabriques de pâte thermomécanique.

Ébauche

Bien que moins prononcés qu'antérieurement, les effets des effluents des fabriques de pâtes sur les communautés d'invertébrés benthiques sont encore largement présents. La réponse la plus courante observée à cet égard dans l'ensemble du pays était une eutrophisation allant de légère à modérée, notamment dans les habitats fluviaux, bien qu'une eutrophisation plus prononcée ait été observée à certaines fabriques. Au contraire, la réponse moyenne observée dans les habitats marins et estuariens indiquait plutôt des effets de toxicité ou d'étouffement. La réponse notée pour les lacs se situait entre celles des habitats fluviaux et des habitats marins ou estuariens. Ces tendances de la réponse sont des moyennes nationales et l'on trouve des exceptions dans chacun des sous-groupes d'habitats. La poursuite du suivi et les recherches qui l'accompagnent permettront de mieux comprendre la portée géographique et l'importance écologique de ces effets.

Études des populations de poissons

L'étude des populations de poissons consiste à effectuer un suivi des poissons dans les eaux réceptrices des effluents des fabriques. La démarche adoptée est fondée sur la comparaison de la croissance, de la reproduction, de la condition et de la survie de poissons exposés aux effluents par rapport à des poissons capturés dans une zone de référence.

Les études de suivi des poissons réalisées pendant le cycle 1 se sont heurtées à plusieurs problèmes. Ainsi, ce n'est qu'à 8 % seulement des fabriques (9 des 115 études) qu'il a été possible de capturer le nombre minimum nécessaire de poissons (20 mâles et 20 femelles de deux espèces) dans les zones exposées et les zones de référence (Environnement Canada, 1997). L'objectif n'a été atteint que partiellement ou presque complètement que pour 50 % des fabriques et il n'a pas été atteint pour 42 % d'entre elles (nombre insuffisant de poissons de chaque espèce ou sexe). Les problèmes les plus courants survenus au cours du cycle 1 ont été le nombre insuffisant de poissons, l'incertitude quant à l'exposition aux effluents, l'absence de sites de référence appropriés et la présence d'autres effluents. Les études du cycle 2 se sont avérées mieux réussies car, pour plus de 82 % d'entre elles, il a été possible de recueillir suffisamment de données pour en permettre l'interprétation.

Comme dans le cas des études de la communautés d'invertébrés benthiques, tous les effets notés au cours du cycle 2 n'étaient pas nécessairement attribués aux fabriques. Pour certains sites, des incertitudes quant au plan d'étude faisaient douter des réponses obtenues. En outre, les effets mesurés ne sont pas toujours pertinents du point de vue écologique, pour un site en particulier et à un temps donné du moins en ce qui touche certains aspects. Ainsi, si la population de poissons se maintient, cela peut indiquer qu'elle peut survivre en dépit de la présence d'effluents de mauvaise qualité, bien que cela puisse supposer l'accès à des eaux non polluées à certains moments du cycle biologique (McMaster *et al.*, 1991; Munkittrick *et al.*, 1997, 1998).

Analyse des données des études des populations de poissons

Les résultats de la présente évaluation nationale des effets sur le poisson ont été obtenus par l'analyse des données électroniques présentées par les fabriques à Environnement Canada. Ces données ont servi à réaliser diverses analyses statistiques et, lorsque cela était possible, les résultats ont été comparés avec les rapports d'interprétation fournis par les fabriques. En général, la concordance entre les résultats présentés par les fabriques et ceux des analyses des données électroniques était bonne.

Tendances nationales

La gamme des effets a été déterminée en calculant la variation en pourcentage de chaque mesure terminale entre les zones exposées et les zones de référence. Ainsi, la variation allait d'une baisse de 27

% à une augmentation de 24 % pour le facteur de condition, d'une baisse de 90 % à une augmentation de 286 % pour le poids des gonades et d'une baisse de 88 % à une augmentation de 73 % pour le poids du foie.

Des méta-analyses ont été réalisées à l'aide des principales mesures terminales et les effets ont été évalués par rapport à la présence de plusieurs facteurs ayant pu avoir une influence, notamment le sexe, l'espèce de poisson, le type de procédé de la fabrique, le type de traitement des effluents et l'habitat de l'environnement récepteur.

Tant les poissons mâles que femelles ont présenté des réponses semblables pour toutes les mesures terminales, sauf une, ce qui montre que le sexe n'a pas influé de façon importante sur les résultats (figure 7). Les poissons de la zone exposée présentaient une diminution significative du poids des gonades, l'ampleur des effets étant plus importante chez les femelles que chez les mâles. La condition, le poids du foie et le poids selon l'âge présentaient tous une augmentation significative dans les zones exposées tant chez les mâles que chez les femelles. En outre, les femelles capturées dans les zones exposées étaient d'un âge significativement plus élevé, peut-être à cause de la perte de juvéniles, d'une meilleure survie des poissons plus âgés ou d'un retard de la maturité chez les femelles. Un effet semblable sur l'âge, bien que non significatif, a été décelé chez les mâles.

La réponse à l'exposition aux effluents a été évaluée chez 19 espèces de poissons. On trouve dans la figure 8 les résultats de la méta-analyse pour les quatre espèces les plus courantes (meunier noir, meunier rouge, perchaude et omisco) en fonction de chacune des cinq mesures terminales principales. À l'échelle nationale, les deux espèces les plus courantes (meunier noir et meunier rouge) présentaient une augmentation significative du poids du foie, de la condition et du poids selon l'âge et une diminution du poids des gonades. Ces réponses concordaient avec l'allure générale de la réponse à l'échelle nationale pour toutes les espèces réunies. On a aussi noté chez le meunier rouge une augmentation significative de l'âge dans les zones exposées, ce qui correspond à la réponse nationale. La structure de l'âge moyen pour le meunier noir ne présentait cependant pas de différence significative entre les zones exposées et les zones de référence. On a noté pour la perchaude une diminution significative de la condition, du poids des gonades et du poids selon l'âge ainsi qu'une diminution du poids du foie, mais celle-ci n'était pas significative. Les réponses notées chez la perchaude correspondaient à ce que l'on trouve normalement dans les situations de pénurie de nourriture.

Les allures de la réponse obtenue pour les deux procédés de fabrication les plus courants, pâte thermomécanique et pâte kraft, étaient assez semblables. Les poissons présentaient généralement une diminution du poids des gonades et une augmentation de l'âge, du poids selon l'âge, du poids du foie et de la condition indépendamment du type de procédé, mais l'effet sur le foie n'était pas aussi significatif dans le cas des fabriques de pâtes kraft (figure 9).

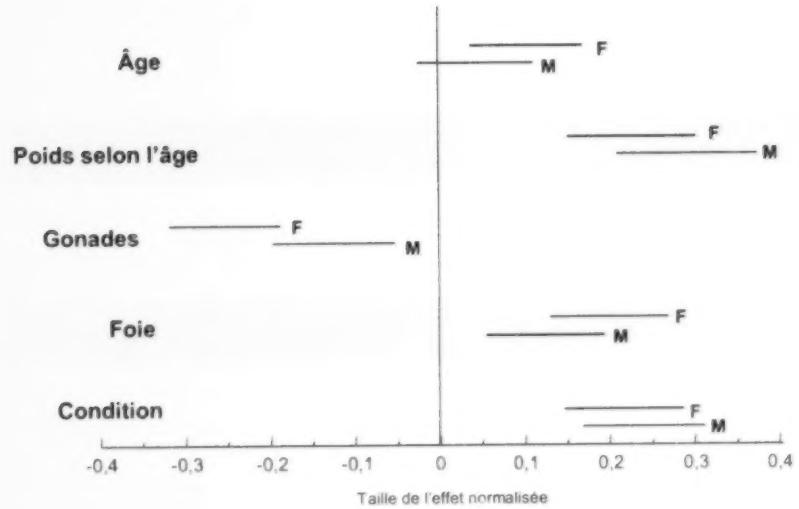

Figure 7 : Influence du sexe sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson. M = mâle, F = femelle.

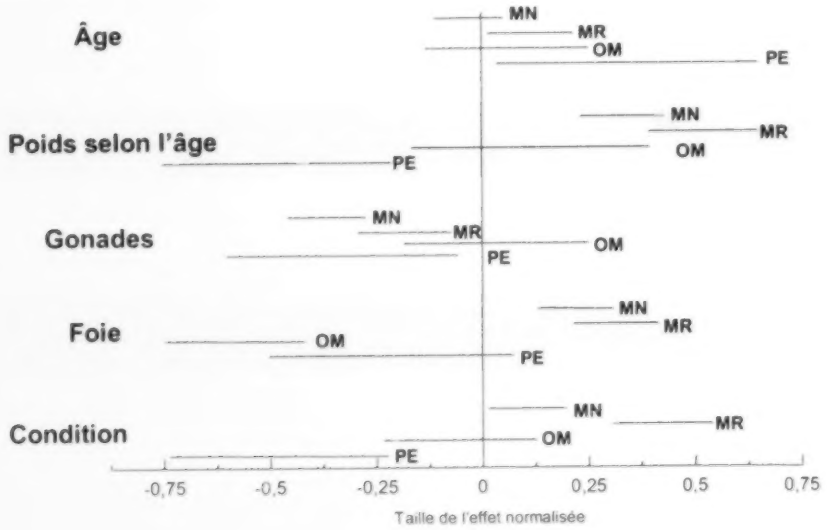

Figure 8 : Influence de l'espèce sur les cinq principales valeurs terminales pour le poisson. MN = meunier noir; MR = meunier rouge; OM = omisco; PE = perchaude.

L'allure de la réponse était assez semblable dans le cas des deux types de traitement les plus courants, celui par boues activées et celui par bassin de stabilisation aéré (figure 10). Ici aussi, l'allure de la réponse se caractérisait par une augmentation du poids selon l'âge, du poids du foie et de la condition et par une diminution du poids des gonades. On a noté une augmentation de l'âge pour les deux types d'effluents, bien que cette différence n'était pas significative dans le cas du traitement par bassin de stabilisation aéré.

Ébauche

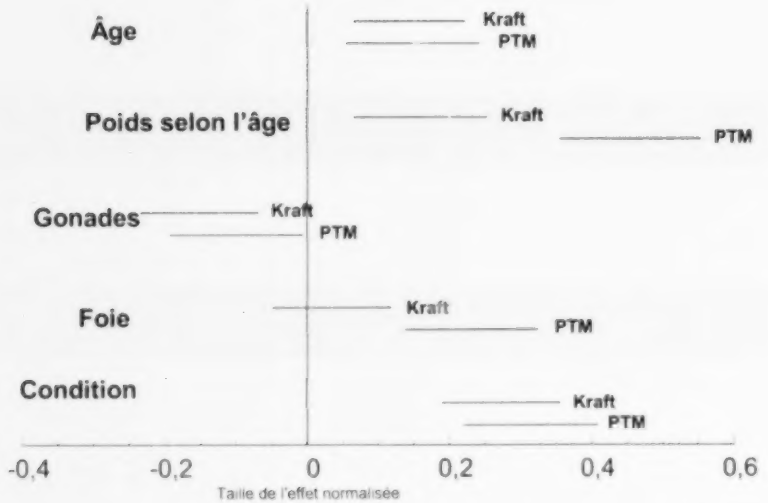

Figure 9 : Influence du type de procédé de la fabrique sur les cinq principales valeurs terminales pour le poisson. Kraft = fabriques de pâte kraft; PTM = fabriques de pâte thermomécanique.

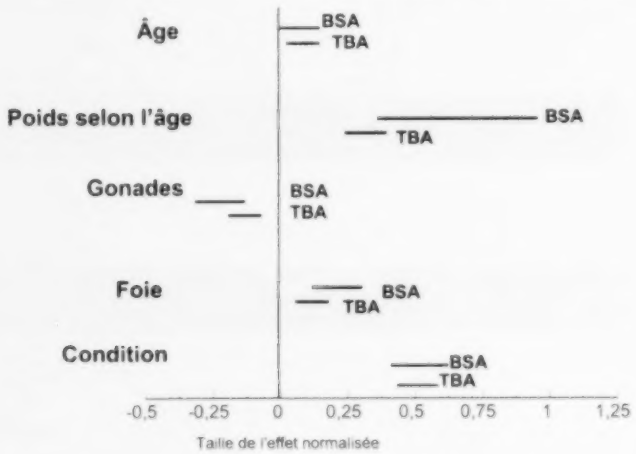

Figure 10 : Influence du type de traitement sur les cinq principales valeurs terminales pour le poisson. BSA = bassin de stabilisation aéré; TBA = traitement par boues activées.

Comme pour les analyses des invertébrés benthiques, les zones réceptrices ont été subdivisées en trois types d'habitats : fluvial (cours d'eau), lacustre et marin-estuarien (figure 11). On observe, pour les trois types, une diminution du poids des gonades, surtout dans les sites lacustres et marins-estuariens. Le facteur de condition était accru de façon significative dans les trois types d'habitats, le poids du foie l'était pour les sites fluviaux et marins-estuariens et le poids selon l'âge pour les sites des cours d'eau et des lacs. L'âge présentait une augmentation significative dans les zones réceptrices des cours d'eau et une diminution significative dans celles des lacs et des sites marins-estuariens. En résumé, on notait des variations significatives pour les cinq mesures terminales dans les sites des cours d'eau et des variations significatives pour quatre des cinq variables dans les sites lacustres et marins-estuariens.

Ébauche

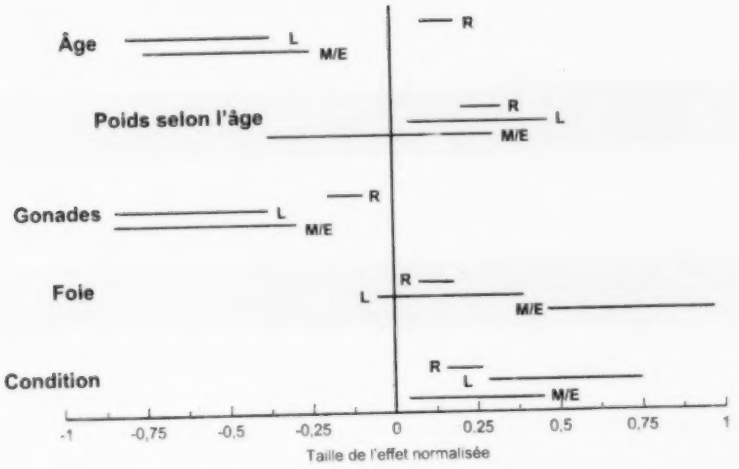

Figure 11 : Influence de l'habitat sur les cinq principales valeurs terminales pour le poisson. R = Rivière/cours d'eau; L = lac; M-E = marin-estuarien.

L'allure prédominante de la réponse notée chez les poissons dans l'ensemble du pays (diminution du poids des gonades et augmentation du poids du foie, du facteur de condition et du poids selon l'âge) semble indiquer une certaine perturbation métabolique combinée à un effet d'enrichissement en éléments nutritifs. Bien que le mécanisme de telles réponses et leur importance écologique demeurent imprécis, ces tendances des effets à l'échelle nationale pourraient bien être reliées à une certaine forme de perturbation de la fonction endocrinienne qui est le fondement de la croissance et du développement reproducteur (Munkittrick, 2001). De pair avec cet effet perturbateur du métabolisme, l'augmentation du poids du foie et du facteur de condition est souvent un indice d'une augmentation de la disponibilité de la nourriture ou d'un enrichissement en éléments nutritifs. L'allure générale dégagée au cours du cycle 2 est comparable aux observations faites au cours du cycle 1. Il faudra mener d'autres recherches et poursuivre les ESEE afin de comprendre ces phénomènes et de confirmer le type, la portée spatiale et l'importance écologique de ces effets.

Allures générales nationales des réponses obtenues des études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons

Les résultats des études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons ont été intégrés de façon quantitative par méta-analyses et analyses multivariées afin de bien dégager les allures générales des réponses à l'échelle nationale. Une bonne correspondance a été notée entre les résultats des deux types d'études. Tel que prévu, les cas où les poissons présentaient une réponse combinant la perturbation métabolique et l'enrichissement en éléments nutritifs étaient reliés de près à ceux où les invertébrés benthiques montraient des signes d'eutrophisation. Les résultats ont aussi révélé que les effets chez les poissons reliés à l'enrichissement en éléments nutritifs (sans perturbation métabolique mesurable) pouvait ne pas être décelé avant que le benthos n'atteigne un stade d'eutrophisation prononcé. Ces analyses ont montré que les deux éléments principaux d'études sur le terrain des ESEE se complétaient, chacun permettant d'obtenir des renseignements particuliers sur divers aspects des effets de l'exposition aux effluents.

Les mesures terminales avaient été choisies pour mesurer un aspect particulier de la façon dont les populations de poissons ou les communautés benthiques pourraient réagir aux effluents des fabriques de pâtes. Les analyses intégrées ont montré que cela avait été obtenu et confirmé que les mesures terminales

des éléments principaux des ESEE n'étaient ni redondantes ni répétitives. Chaque mesure terminale s'avère utile à la description d'un aspect différent (et partiellement indépendant) de la nature des effets des effluents. L'abandon de l'une ou l'autre de ces mesures se traduirait par le risque de négliger un élément important des effets des effluents.

Utilisation des ressources halieutiques

L'effet de l'effluent des fabriques de pâtes et papiers sur l'utilisation des ressources halieutiques est évalué par des essais d'altération, conçus pour déterminer si le goût du poisson est changé, et le dosage des dioxines et des furannes dans les parties comestibles du poisson.

Seulement deux fabriques ont effectué une étude d'altération dans le cadre du Cycle 2. Dans un cas, on a conclu que la fabrique était la cause de l'altération, et des mesures sont en train d'être prises pour atténuer ce problème. Dans l'autre cas, l'essai d'altération a confirmé qu'il s'agissait d'un problème dans la zone d'exposition, mais la cause ne pouvait être cernée.

Dans le Cycle 1, les fabriques qui utilisaient le blanchiment au chlore ou l'avaient utilisé par le passé ont été obligées de doser les congénères des dioxines et des furannes dans les parties comestibles du poisson. Lorsque les résultats indiquaient des concentrations inférieures aux recommandations concernant la consommation du poisson, la fabrique était exemptée des dosages à effectuer dans les cycles suivants. Les résultats du Cycle 1 ont montré que les concentrations de dioxines et de furannes dans les parties comestibles des poissons étaient faibles. Par conséquent, au Cycle 2, dix fabriques seulement ont dosé ces composés dans le tissu des poissons, et pour six d'entre elles, les concentrations étaient supérieures aux recommandations de Santé Canada concernant la consommation du poisson. Une surveillance continue est nécessaire pour déterminer la source des dioxines et des furannes à ces six endroits.

Toxicité sublétale

Les essais de toxicité sublétale permettent aux responsables des fabriques de surveiller de la qualité de leurs effluents et de complémenter les données de terrain des ESEE. Dans le cadre du programme d'ESEE, les résultats des essais sublétaux portant sur les effluents ou les eaux réceptrices permettent de déterminer les variations temporelles de la toxicité, notamment celles qui résultent de changements apportés aux procédés ou au traitement des effluents de la fabrique, d'évaluer le potentiel d'effets dans les eaux réceptrices et d'estimer, dans les situations où les rejets sont multiples, les apports relatifs des diverses sources à tout effet observé dans l'environnement récepteur.

Les données de toxicité sublétale du programme d'ESEE montrent qu'il y a eu une amélioration à l'échelle nationale de la qualité des effluents des fabriques de pâtes et papiers canadiennes entre la réalisation des cycles 1 et 2. Cette amélioration s'explique en grande partie par la mise en place de systèmes de traitement secondaire dans la majorité des fabriques au cours de cette période. La figure 12 illustre l'importante réduction de la toxicité des effluents entre les cycles 1 et 2, en prenant comme exemple *Ceriodaphnia dubia* (une espèce d'invertébré).

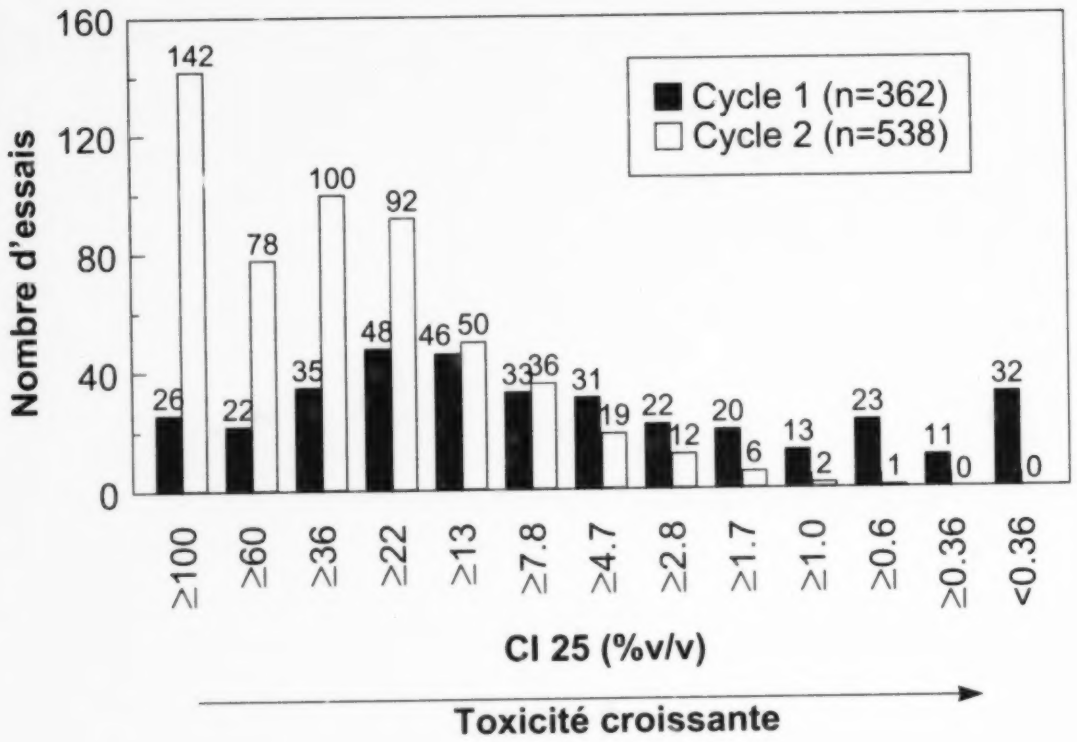

Figure 12 : Sommaire des résultats des essais de reproduction de *Ceriodaphnia dubia* pour les cycles 1 et 2

Conclusions générales

L'industrie canadienne des pâtes et papiers a investi des milliards de dollars dans la recherche et la technologie afin de réduire ses émissions et ses effluents. Actuellement, la plupart des fabriques de pâtes et papiers du Canada disposent, au minimum, de systèmes de traitement primaire et secondaire. Les fabriques ont réussi à réduire de façon extrêmement importante la toxicité de leurs effluents, mais les données du programme d'ESEE montrent qu'il y a toujours des incidences sur l'environnement aquatique.

À l'échelle nationale, les études des communautés d'invertébrés benthiques révèlent que, de façon générale, l'exposition aux effluents des fabriques de pâtes a donné lieu à une eutrophisation. Cet effet d'enrichissement en éléments nutritifs qui variait normalement de faible à modéré (mais parfois prononcé) s'explique sans doute par la présence de phosphore, d'azote et de matières organiques dans les effluents. Les ESEE ont montré que le plan d'étude et le type d'habitat avaient eu une certaine influence sur les résultats. Ainsi, les habitats fluviaux présentaient une légère eutrophisation, les habitats marins-estuariens des signes d'effets toxiques ou d'étouffement et ceux des lacs des réponses intermédiaires.

Des effets ont aussi été observés chez les poissons en aval des points de rejet des effluents des fabriques de pâtes, la réponse générale prenant la forme d'une perturbation du métabolisme combinée à un enrichissement en éléments nutritifs. Dans le cas des poissons, la tendance nationale était une diminution

du poids des gonades et une augmentation du poids du foie, du facteur de condition et du poids selon l'âge. D'autres tendances ont été observées, notamment celles correspondant à des conditions de manque de nourriture.

L'intégration des résultats a permis d'établir une bonne concordance entre les études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons. C'est-à-dire que les effets de perturbation métabolique et d'enrichissement en éléments nutritifs observés chez les poissons correspondaient à l'eutrophisation observée pour le benthos. Les résultats montraient aussi que l'effet généralisé d'enrichissement en éléments nutritifs (en l'absence de perturbation métabolique mesurable) pourrait ne pas être décelé chez les poissons avant que le benthos n'atteigne un état d'eutrophisation avancée. L'intégration des résultats a aussi montré que ces deux éléments principaux des ESEE sur le terrain se complétaient mutuellement en révélant des aspects différents des effets associés à l'exposition aux effluents.

L'évaluation nationale des données du programme d'ESEE a révélé l'existence d'importantes tendances des réponses des environnements aquatiques dans les environs des fabriques de pâtes et papiers. Bien que la qualité des effluents se soit grandement améliorée depuis la promulgation, en 1992, du Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers, les effets sur le poisson et son habitat, tels que mesurés par l'étude des communautés d'invertébrés benthiques, sont toujours présents. Il faudra poursuivre les travaux de suivi pour évaluer l'importance écologique des effets observés et Environnement Canada continuera de collaborer avec l'industrie et d'autres intervenants afin de mieux en comprendre la portée. Ces résultats constituent un excellent point de départ et soulignent l'importance de poursuivre le programme d'ESEE.

Glossaire

Traitement par boues activées – Procédé de traitement des sous-produits résiduels, comme l'encre et les particules de fibres des papiers recyclés, par lequel des bactéries décomposantes sont ajoutées aux boues et le mélange obtenu est agité afin d'y dissoudre l'oxygène. Les boues ainsi obtenues sont ensuite enfouies ou séchées et brûlées.

Bassin de stabilisation aéré – Bassin de traitement généralement profond d'un ou deux mètres et construit de façon à permettre à la lumière naturelle, aux microorganismes et à l'oxygène d'interagir afin de dégrader la matière organique. Ces bassins comportent des aérateurs pour améliorer le transfert de l'oxygène dans l'eau.

Communauté d'invertébrés benthiques – Populations interdépendantes de petits animaux (à l'exclusion des poissons et des autres vertébrés) qui vivent sur le fond ou près du fond d'un plan d'eau et qui peuvent servir de nourriture aux poissons. La mesure de l'évolution des communautés d'invertébrés permet de mieux comprendre les variations des habitats aquatiques et d'évaluer les ressources alimentaires aquatiques disponibles pour les poissons.

Indice de Bray-Curtis – Indice qui sert à mesurer le degré de différence de la structure des communautés (plus particulièrement la composition des communautés) entre les sites. Cette mesure facilite l'évaluation de la dissimilitude entre les communautés d'invertébrés benthiques de sites différents.

Facteur de condition – Mesure de la condition physique des poissons fondée sur le rapport entre le poids corporel et la longueur du corps. Le facteur de condition exprime essentiellement l'état plus ou moins « gras » des poissons dans chaque zone.

Contrôle-impact, plan – Plan d'étude comportant au moins une zone de référence, généralement située en amont de la fabrique ou dans un autre bassin versant, et plusieurs zones exposées situées en aval. Ce plan d'étude a surtout été utilisé pour les cours d'eau.

Dépôt, de – Généralement une partie d'un habitat fluvial où l'écoulement de l'eau tend à être plus lent et ainsi favoriser le dépôt des sédiments. Le substrat de ces zones est généralement plus mou et de nature plus granulaire.

Effet – Dans le contexte du programme d'ESEE, un effet est une différence significative du point de vue statistique entre des mesures réalisées dans une zone exposée et celles réalisées dans une zone de référence.

Endocrinien – Le système endocrinien régit diverses fonctions internes de l'organisme par la sécrétion d'hormones qui sont transportées dans le sang.

Mesure terminale – Mesure particulière utilisée à titre d'indicateur des effets potentiellement importants des effluents sur le biote des eaux réceptrices. On compte, comme exemples, le poids des gonades, le poids du foie, le facteur de condition et le poids selon l'âge pour les poissons, ou l'abondance, la richesse taxonomique, l'indice de diversité de Simpson et l'indice de Bray-Curtis pour le benthos.

Érosion, d' – Généralement une partie d'un habitat fluvial où l'écoulement de l'eau tend à être plus rapide et turbulent. Dans ces zones, les sédiments sont habituellement transportés vers l'aval. Le substrat du fond y est normalement formé de sédiments grossiers, de pierres et de galets.

Eutrophisation – Processus de surfertilisation d'un plan d'eau par des éléments nutritifs qui résulte souvent en une production excessive de biomasse organique et qui se caractérise par un grand nombre d'organismes et, lorsqu'il est prononcé, par un nombre restreint d'espèces. L'eutrophisation est un processus naturel qui peut être accéléré par une augmentation de la charge d'éléments nutritifs découlant d'activités humaines.

Ébauche

Zone exposée – Zone d'échantillonnage où les poissons et les invertébrés benthiques sont exposés aux effluents des fabriques de pâtes et papiers. Cette zone peut s'étendre à plusieurs environnements récepteurs et englober divers types d'habitats.

Gradient, plan par – De façon générale, l'échantillonnage est réalisé selon un gradient de concentrations d'effluents décroissantes, en débutant par des zones exposées situées à proximité de la fabrique et en progressant vers des zones moins exposées, situées plus loin. Ce plan d'étude a parfois été utilisé dans des situations où il y avait dilution rapide des effluents.

Fabrique de pâte kraft – Fabrique utilisant un procédé complètement chimique de fabrication de la pâte à partir du bois qui permet d'obtenir des papiers généralement grossiers reconnus pour leur résistance et qui, lorsqu'ils ne sont pas blanchis, servent surtout de matériaux d'emballage.

Perturbation métabolique – Le métabolisme est un mécanisme de l'organisme qui assure la synthèse de substances complexes à partir de substances plus simples ou la dégradation de substances complexes. Il peut être perturbé par une exposition à des substances nocives présentes dans l'environnement, ce qui peut donner lieu à des déséquilibres importants de la maturation, du comportement sexuel, de la croissance, etc. de l'organisme.

Enrichissement en éléments nutritifs – Effet résultant de l'ajout dans l'environnement de quantités importantes de matières nutritives organiques ou inorganiques.

Zone de référence – Zone d'échantillonnage qui n'est pas exposée aux effluents de la fabrique de pâtes et papiers étudiée et dont les caractéristiques de l'habitat naturel, y compris les incidences anthropiques, sont semblables à celles des zones exposées.

Indice de diversité de Simpson – Mesure des caractéristiques d'une communauté qui tient compte à la fois de l'abondance et de la richesse taxonomique de la communauté d'invertébrés benthiques. Il est calculé en déterminant, pour chaque groupe taxonomique, la proportion d'individus de ce groupe au sein de l'échantillon total.

Étouffement – Suraccumulation de matières organiques, provenant des effluents d'une fabrique de pâtes et papier, sur le fond d'un plan d'eau et qui nuit à la vie des organismes et peut parfois causer leur mort.

Toxicité sublétale – Dans le contexte du programme d'ESEE, les essais de toxicité sublétale mesurent généralement la proportion d'organismes affectés par l'exposition à des concentrations données d'effluents de fabriques de pâtes. L'essai de toxicité sublétale mesure ce qui est nocif pour l'organisme, mais à un niveau inférieur à celui qui cause directement la mort pendant la période d'essai.

Richesse taxonomique – Nombre total des diverses catégories taxonomiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station d'échantillonnage.

Taxon – Les organismes sont classés selon des catégories en fonction de leurs similitudes et de leurs relations évolutives. Chacune de ces catégories (p. ex., espèce, genre, famille, phylum) est appelée un taxon.

Fabrique de pâte thermomécanique – Une fabrique où la pâte est obtenue à l'aide d'un processus en deux étapes. Tout d'abord, les copeaux de bois sont désintégrés par de la vapeur sous pression dans un raffineur spécial avant d'être raffinés davantage par le moyen de diverses réactions chimiques à haute température. Dans la deuxième étape, le raffineur fonctionne à la température ambiante et les fibres ainsi traitées peuvent être directement utilisées pour la fabrication du papier. La pâte thermomécanique est généralement très résistante et sert à faire des papiers couchés ou non couchés, comme les papiers destinés aux revues, catalogues, annuaires, livres, etc.

Abondance totale – Nombre total dIindividus, exprimÈ par unitÈ de surface et de toutes les catÈgories taxonomiques, qui ont ÈtÈ prÈlevÈs á une station dIÈchantillonnage.

Ébauche

Poids selon l'âge – Mesure du taux de croissance du poisson décrite par le quotient de la taille (poids) sur l'âge. Au cours de la vie d'un poisson, le taux d'accroissement de la taille diminue généralement à mesure que le poisson approche du moment de sa mort.

Références

Biermann, C.J. 1996. Pulping and paper making. Academic Press, San Diego, California.

Bothwell, M.L. 1992. Eutrophication of rivers by nutrients in treated kraft pulp mill effluent. Water Pollut. Res. J. Can. 27: 447–472.

Chambers, P.A., A.R. Dale, G.J. Scrimgeour et M.L. Bothwell. 2000. Nutrient enrichment of northern rivers in response to pulp mill and municipal discharges. J. Aquat. Ecosyst. Stress Recov. 8: 53–66.

Culp, J.M., R.B. Lowell et K.J. Cash. 2000a. Integrating mesocosm experiments with field and laboratory studies to generate weight-of-evidence risk assessments for large rivers. Environ. Toxicol. Chem. 19: 1167–1173.

Culp, J.M., C.L. Podemski et K.J. Cash. 2000b. Interactive effects of nutrients and contaminants from pulp mill effluents on riverine benthos. J. Aquat. Ecosyst. Stress Recov. 8: 67–75.

Dubé, M.G. et J.M. Culp. 1996. Growth responses of periphyton and chironomids exposed to biologically treated bleached kraft pulp mill effluent. Environ. Toxicol. Chem. 15: 2019–2027.

Dubé, M.G. et D.L. McLatchy. 2000. Endocrine responses of *Fundulus heteroclitus* to effluent from a bleached-kraft mill before and after installation of reverse osmosis treatment of a waste stream. Environ. Toxicol. Chem. 19: 2788–2796.

Environnement Canada. 1997. Fish monitoring, fish survey Section 5.1 technical guidance document for pulp and paper environmental effects monitoring. Environnement Canada, Ottawa, Ontario (ESEE/1997/7).

Environnement Canada. 1999. Réponse du Canada aux recommandations du neuvième rapport biennal de la Commission mixte internationale (www.on.ec.gc.ca/doc/ninth-ijc-response/dioxinfuran-e.html).

Environnement Canada. 2002. Guide pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les mines de métaux. Bureau national du ESEE, Direction de la politique scientifique et de la qualité de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa, Ontario (www.ec.gc.ca/eem).

Felder, D.P., S.J. D'Surney, J.H. Rodgers, Jr et T.L. Deardorff. 1998. A comprehensive environmental assessment of a receiving aquatic system near an unbleached kraft mill. Ecotoxicology 7: 313–324.

Glozier, N.E., J.M. Culp, T.B. Reynoldson, R.C. Bailey, R.B. Lowell et L. Trudel. 2002. Assessing metal mine effects using benthic invertebrates for Canada's Environmental Effects Program. Water Qual. Res. J. Can. 37: 251–278.

Gurevitch, J. et L.V. Hedges. 1993. Meta-analysis. Combining the results of independent experiments. Pages 347–369 *in* S.M. Scheiner and J. Gurevitch (eds.), Design and analysis of ecological experiments. Oxford University Press, New York.

Hall, T.J., R.K. Halley et L.E. Lafleur. 1991. Effects of biologically treated kraft mill effluent on cold water stream productivity in experimental stream channels. Environ. Toxicol. Chem. 10: 1051–1060.

Hodson, P.V., K.R. Munkittrick, R. Stevens et A. Colodey. 1996. A tier-testing strategy for managing programs of environmental effects monitoring. Water Qual. Res. J. Can. 31: 215–224.

Kovacs, T.G., J.S. Gifford, L.A. Tremblay, B.I. O'Conner, P.H. Martel et R.H. Voss. 1995. The effects of a secondary-treated bleached kraft mill effluent on aquatic organisms as assessed by short-term and long-term laboratory tests. Ecotoxicol. Environ. Saf. 31: 7–22.

Lowell, R.B. et J.M. Culp. 1999. Cumulative effects of multiple effluent and low dissolved oxygen stressors on mayflies at cold temperatures. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques. 56: 1624–1630.

Lowell, R.B. et J.M. Culp. 2002. Implications of sampling frequency for detecting temporal patterns during environmental effects monitoring. Water Qual. Res. J Can. 37: 119–132.

Lowell, R.B., J.M. Culp et F.J. Wrona. 1995. Stimulation of increased short-term growth and development of mayflies by pulp mill effluent. Environ. Toxicol. Chem. 14: 1529–1541.

Lowell, R.B., J.M. Culp, F.J. Wrona et M.L. Bothwell. 1996. Effects of pulp mill effluent on benthic freshwater invertebrates: food availability and stimulation of increased growth and development. Pages 525–532 *in* M.R. Servos, K.R. Munkittrick, J.H. Carey, and G.J. Van Der Kraak (eds.), Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. St. Lucie, Delray Beach, Floride.

Lowell, R.B., J.M. Culp et M.G. Dubé. 2000. A weight-of-evidence approach for northern river risk assessment: integrating the effects of multiple stressors. Environ. Toxicol. Chem. 19: 1182–1190.

Lowell, R.B., K. Hedley et E. Porter. 2002. Data interpretation issues for Canada's Environmental Effects Monitoring Program. Water Qual. Res. J. Can. 37: 101–117.

McMaster, M.E., G.J. Van Der Kraak, C.B. Portt, K.R. Munkittrick, P.K. Sibley, I.R. Smith et D.G. Dixon. 1991. Changes in hepatic mixed-function oxygenase (MFO) activity, plasma steroid levels and age at maturity of a white sucker (*Catostomus commersoni*) population exposed to bleached kraft pulp mill effluent. Aquat. Toxicol. 21: 199–218.

Munkittrick, K.R. 2001. Assessment of the effects of endocrine disrupting substances in the Canadian environment. Water Qual. Res. J. Can. 36(2): 293–302.

Munkittrick, K.R., M.R. Servos, J.H. Carey et G.J. Van Der Kraak. 1997. Environmental impacts of pulp and paper wastewater: Evidence for a reduction in environmental effects at North American pulp mills since 1992. Water Sci. Technol. 35: 329–338.

Munkittrick, K.R., M.E. McMaster, L.H. McCarthy, M.R. Servos et G.J. Van Der Kraak. 1998. An overview of recent studies on the potential of pulp mill effluents to impact reproductive function in fish. J. Toxicol. Environ. Health, Part B, 1: 101–125.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 1999. Canada. Pages 41–77 dans Environmental requirements for industrial permitting: Country profiles on the pulp and paper sector: Part 2. Groupe de travail sur la prévention et le contrôle de la pollution, Direction de l'environnement, OCDE.

Owens, J.W. 1991. The hazard assessment of pulp and paper effluents in the aquatic environment: A review. Environ. Toxicol. Chem. 10: 1511–1540.

Rosenberg, M.S., D.C. Adams et J. Gurevitch. 2000. MetaWin: Statistical software for meta-analysis. Version 2.0. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Servos, M.R., K.R. Munkittrick, J.H. Carey et G.J. Van Der Kraak (eds.). 1996. Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. St. Lucie Press, Delray, Floride.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1998. Pulp and paper NESHAP: A plain English description. USEPA, Washington, D.C. (EPA-456/R-98-008).